



HAL
open science

Approche du mouvement du rythme musical par le mouvement graphique de l'auditeur. Représentations graphiques enactives de patterns rythmiques percussifs par des enfants de cinq ans

Valérie Ométak

► **To cite this version:**

Valérie Ométak. Approche du mouvement du rythme musical par le mouvement graphique de l'auditeur. Représentations graphiques enactives de patterns rythmiques percussifs par des enfants de cinq ans. Musique, musicologie et arts de la scène. Université Paris 4 Sorbonne, 2017. Français. NNT: . tel-01691984

HAL Id: tel-01691984

<https://hal.science/tel-01691984>

Submitted on 24 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÉ PARIS-SORBONNE

ÉCOLE DOCTORALE V CONCEPTS ET LANGAGES

IReMus-UMR 8223

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SORBONNE

Discipline : Musique et musicologie

Présentée et soutenue par :

Valérie OMÉTAK

le : 06 janvier 2017

**Approche du *mouvement* du rythme musical
par le mouvement graphique de l'auditeur
Représentations graphiques enactives de patterns rythmiques
percussifs par des enfants de cinq ans**

Sous la direction de :

M. François MADURELL – Professeur, Université Paris-Sorbonne

Membres du jury :

M. Jean-Marc CHOUVEL – Professeur, Université Paris-Sorbonne

M. Philippe LALITTE – Maître de conférences HDR, Université Bourgogne Franche-Comté

M. Marc LEMAN – Professeur, Université Gand

M. François MADURELL – Professeur, Université Paris-Sorbonne

M. Pierre SAUVANET – Professeur, Université Bordeaux 3

**Approche du *mouvement* du rythme musical
par le mouvement graphique de l'auditeur
Représentations graphiques enactives de patterns rythmiques
percussifs par des enfants de cinq ans**



UNIVERSITÉ PARIS-SORBONNE

ÉCOLE DOCTORALE V CONCEPTS ET LANGAGES

IReMus-UMR 8223

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SORBONNE

Discipline : Musique et musicologie

Présentée et soutenue par :

Valérie OMÉTAK

le : 06 janvier 2017

**Approche du *mouvement* du rythme musical
par le mouvement graphique de l'auditeur
Représentations graphiques enactives de patterns rythmiques
percussifs par des enfants de cinq ans**

Sous la direction de :

M. François MADURELL – Professeur, Université Paris-Sorbonne

Membres du jury :

M. Jean-Marc CHOUVEL – Professeur, Université Paris-Sorbonne

M. Philippe LALITTE – Maître de conférences HDR, Université Bourgogne Franche-Comté

M. Marc LEMAN – Professeur, Université Gand

M. François MADURELL – Professeur, Université Paris-Sorbonne

M. Pierre SAUVANET – Professeur, Université Bordeaux 3



IReMus-UMR 8223

2 rue de Louvois

75002 PARIS

REMERCIEMENTS

A mon directeur de thèse, Pr. François Madurell, pour avoir accepté de diriger ce travail et en avoir suivi les étapes de réalisation, pour m'avoir accordé sa confiance et laissée libre de mes choix scientifiques.

Aux membres du jury : M. Philippe Lalitte, Maître de conférences HDR et Pr. Marc Leman pour avoir accepté d'être rapporteurs, Pr. Jean-Marc Chauvel et Pr. Pierre Sauvanet pour avoir été examinateurs.

Aux Professeurs d'Université, pour m'avoir prodigué de précieux conseils scientifiques sur des questions théoriques et méthodologiques : Pr. Jean-Marc Chauvel, Pr. Laurent Daudet, Pr. Michel Imberty, Pr. Jean-Claude Lévy, Pr. Jean-Pierre Mialaret.

Aux enseignants-chercheurs, pour les réflexions et leur expertise : Pierre Couprie, Boris Doval, Lionel Feugère, Jérémie Garcia, Gérald Guillot, Frédéric Piat.

Aux enseignants, pour les informations qu'ils m'ont généreusement transmises et pour leur aide technique dans la réalisation de ce travail : François Caugan, Cécile Colin, Sylvie Joud, James Laird-Wah, Julien Marché, Julien Olivier, Jean-Marc Triouiller, Frédéric Voisin.

Aux musiciens, pour leurs qualités artistiques et leur investissement dans les recherches sonores : Habib Yammine, percussionniste, et Matthieu Souchet, batteur jazz.

A mes professeurs de musique, pour leur enseignement et la passion qu'ils ont su éveiller et nourrir depuis l'enfance : Claudine Scariot, clarinette et formation musicale, Juliette Gerbe, violoncelle, Frédéric Aulnette, orchestre et musique de chambre, Thierry de Micheaux, formation jazz, Denis Gautheryrie, ensemble vocal.

Aux Professeurs des Ecoles, pour leur gentillesse et la confiance qu'ils m'ont accordée en ouvrant leur classe : Hélène François, Nathalie Laroche Chambert-Loir, Ghislain Leroy, Véronique Pluchon, Annick Tsin, Patrice Winter.

Aux enfants de grande section de maternelle pour s'être prêtés au jeu de l'expérience :
Antoine L., Achille R., Alice P.-V., Alicia B., Adèle G., Andréa O., Augustine de P., Blessing D., Calistée C., Carmen L., Cécile H.-T., Cécilia H., Célia H., César M., Charles C., Clémence K.-B., Collyn B., Edouard M., Elliott G-C, Gabriel K., Hannah N., Harouna Y., Jade B.-Y., Jean-François C., Jeanne V., Kamilia P., Karine W., Kinnolove G., Léa Z., Louis G., Louis L., Louise B., Lucas G., Maelle L., Mahamadou B., Max L., Maya F., Mendel B., Mohamed T., Paul M., Philéas T., Quentin D., Rayane E., Robinson I., Sacha R., Salif K., Sara A., Sixtine R., Théophile M., Valentine F., Victor L., Victoria G.M.

A mes proches, famille et amis, pour avoir accepté les contraintes imposées par ce travail et pour leur soutien indéfectible durant ces années de recherche.

« [...] *Ce que toutes les conceptions adéquates d'un objet doivent avoir en commun, est le concept de l'objet.* Le même concept est incarné dans une multitude de conceptions. C'est une *forme* qui apparaît dans toutes les versions de la pensée ou de l'imagerie qui peut connoter l'objet en question, une forme vêtue de différents téguments de sensation pour tout esprit différent. Deux personnes ne voient probablement rien de la même manière. Leurs organes sensoriels diffèrent, leur attention, imagerie et sentiments diffèrent, si bien qu'on ne peut pas supposer qu'ils aient des impressions identiques. Mais si leurs conceptions respectives d'une chose (ou d'un événement ou d'une personne, etc.) incarnent le même *concept*, ils pourront se comprendre. »¹

Susanne K. Langer

« [...] la compréhension de la phrase musicale n'est-elle pas, pendant le temps où nous l'entendons, une expérience vécue ? et que vient faire alors l'explication ? Devons-nous penser à elle pendant que nous sommes en train d'écouter la musique ? Devons-nous y ajouter la représentation d'une danse, ou de quoi que ce soit d'autre ? »²

Ludwig Wittgenstein

« Rien n'est aussi difficile que de ne pas se leurrer soi-même. »³

Ludwig Wittgenstein

¹ Traduction de l'auteure. " [...] *That which all adequate conceptions of an object must have in common, is the concept of the object.* The same concept is embodied in a multitude of conceptions. It is a *form* that appears in all versions of thought or imagery that can connote the object in question, a form clothed in different integuments of sensation for every different mind. Probably no two people see anything just alike. Their sense organs differ, their attention and imagery and feelings differ so that they cannot be supposed to have identical impressions. But if their respective conceptions of a thing (or event, or person, etc.) embody the same *concept*, they will understand each other." LANGER, Susanne K., *Philosophy in a New Key, A Study in the Symbolism of Reason, Rite, and Art*, Cambridge, Harvard University Press, 1942/1971, p. 71.

² WITTGENSTEIN, Ludwig, *Remarques mêlées*, Flammarion, 1984/2002, p. 95.

³ *Ibidem*, p. 94.

INTRODUCTION

L'objet de cette recherche est le rythme musical considéré sous l'angle particulier de son *mouvement*. La thèse entreprend une approche empirique du *mouvement* du rythme par le mouvement graphique de l'auditeur, avec une expérience exploratoire sur les représentations graphiques *enactives* de patterns rythmiques percussifs par des enfants de cinq ans. Cette notion est abstraite et, à défaut d'un terme adéquat ou d'un néologisme qui permettraient de le différencier de tout autre type de mouvement, le *mouvement* qui se rapporte au rythme musical sera systématiquement noté en italique.

Outre un intérêt général pour les formes en mouvement et pour les processus d'élaboration de la forme, deux raisons majeures nous ont menée à étudier ce phénomène complexe. La première est que l'idée de *mouvement* semble fondamentale dans l'étude de l'essence et des effets de la musique. La seconde est liée à la primauté du rythme dans la musique. Elle est reconnue par de nombreux théoriciens et, comme le précise O. Messiaen,

« La musique est donc faite en partie avec des sons... mais aussi et d'abord avec des *Durées*, des *Elans* et des *Repos*, des *Accents*, des *Intensités* et des *Densités*, des *Attaques* et des *Timbres*, toutes choses qui se groupent sous un vocable général : le *Rythme*. »¹

Dès l'abord, nous avons été confrontée à d'importants problèmes terminologiques, définitionnels et méthodologiques liés aux termes centraux « rythme » et « mouvement ». Sur le plan terminologique, « rythme », « Un mot sans signification généralement acceptée »², et « mouvement » recouvrent des réalités diverses et de multiples sens et ne permettent pas de se référer à des concepts bien définis. La polysémie de la notion de rythme a engendré un foisonnement de définitions différentes et souvent divergentes. Il en résulte que

« Partir d'une définition précise est une facilité qui est refusée à tout ceux qui étudient le rythme. (...) L'origine de cette difficulté ne gît pas dans quelque caractère mystérieux du rythme, mais dans une complexité qui rend impossible toute définition du rythme. Le rythme n'est pas un concept univoque, mais un terme générique. Seule une analyse peut en découvrir les composantes et y dégager une unité hiérarchique. »³

¹ MESSIAEN, Olivier, *Traité de rythme, de couleur, et d'ornithologie, (1949-1992)*, Tome I, Paris, Ed. Leduc, 1994, p. 40.

² Traduction de l'auteur. "A word without a generally accepted meaning", SACHS, Curt, *Rhythm and Tempo : a Study in Music History*, W.W. Norton and Company, 1953, p. 12.

³ FRAISSE, Paul, *Les structures rythmiques, étude psychologique*, Louvain, Erasme, 1956, p. 1.

L'idée de *mouvement* en musique a une histoire longue et variée. On en trouve des usages divers qui montrent que des notions se sont accumulées dans l'histoire, sans refonte, à chaque étape, du concept.

« Morcelée, éclectique, associationniste, la théorie traditionnelle du mouvement est restée embryonnaire. On constate le mouvement ; il arrive qu'on le décrive (mais rarement, et toujours par rapport à l'un des 'paramètres' écrits de l'oeuvre) ; on ne l'explique pas. Le tour des acceptions courantes effectué, on a l'impression d'avoir tout dit, mais on s'est tu sur le concept de mouvement lui-même, sa nature musicale, ses particularités, ses types et ses effets sensibles ; on s'est tu sur ses causes, sur l'ensemble des 'paramètres' aptes à le susciter, leur coordination ; on s'est tu sur l'existence et sur la variabilité de ses formes historiques, sur leur sens et les relations que ces formes entretiennent avec d'autres valeurs notionnelles qui ont cours dans la société où, parallèlement, s'y instaurent. »⁴

La problématique du *mouvement* en musique est un vaste champ de recherche⁵ et l'on ne trouve pas de conceptions bien établies dans le cas précis du rythme. Sur le plan méthodologique, les voies d'accès au *mouvement* sont indirectes et incertaines.

En l'absence de consensus sur les définitions du rythme et sans théorie scientifique du *mouvement* en musique, deux questions primordiales ont guidé la recherche sur cet objet supposé réel : Qu'est-ce que le *mouvement* du rythme ? Comment le mettre en évidence ? La première renvoie à un problème théorique de description et porte sur le concept de *mouvement*, sur sa nature rythmique et son processus de formation. La seconde renvoie à un problème méthodologique et porte sur les effets sensibles du *mouvement* et sur les méthodes d'investigation qui permettent d'appréhender ce phénomène complexe.

Nous avons donc recensé différentes conceptions du *mouvement* du rythme selon ces deux points de vue théoriques et méthodologiques. Les principales sources bibliographiques proviennent des champs de la musicologie théorique et empirique, de la psychologie de la musique, de la théorie de l'enaction et du domaine de la cognition musicale incarnée. Elles sont étayées par des apports philosophiques fondamentaux afin de comprendre comment le problème de définition du rythme et du *mouvement* est envisagé au plus haut degré de généralité. A l'appui de ce cadre de référence, nous avons suivi une seconde voie, empirique, réalisant une expérience de terrain qui vise l'exploration du *mouvement* du rythme par le mouvement graphique de l'auditeur de cinq ans.

⁴ VECCHIONE, Bernard, « Eléments d'analyse du mouvement musical », *Analyse musicale*, 3^e trimestre 1987, p. 17.

⁵ Il est composé d'au moins dix secteurs « Les problématiques et les poétiques de la mobilité et de l'ouverture, de l'indétermination et du hasard ; l'improvisation et le jeu dans les musiques de tradition 'orale' ; la variabilité des réceptions de l'oeuvre et de ses interprétations ; la multiplicité de ses modes d'existence ; la mouvance du projet et du procès de composition ; celle des commandes et des paiements ; le mouvement de la matière musicale ; la forme comme chemin, trajet ou processus ; les poétiques du mouvement ; la variabilité et la mobilité historique et sociale des problématiques des savoirs instaurés par le faire musical. », VECCHIONE, Bernard, *op. cit.*

Trois livres exposent successivement les différentes conceptions théoriques et les méthodes de recherches empiriques sur le *mouvement* du rythme, nos choix théoriques et méthodologiques à partir desquels a été conçue l'expérience de terrain, et la présentation des résultats de cette tentative d'approche du *mouvement* du rythme.

Le premier livre est consacré à une revue de question sur les conceptions du *mouvement* du rythme. Un premier chapitre est dédié à la recherche de définition du rythme et de son *mouvement* émanant principalement de discours théoriques, philosophiques et musicologiques. Les conceptions du *mouvement* dépendant des points de vue sur le rythme lui-même, elles sont présentées selon que le rythme est conçu comme un concept, comme un phénomène, une expérience, ou comme une forme dynamique. Le deuxième chapitre présente des données empiriques et méthodologiques qui enrichissent les conceptions du *mouvement* du rythme par des recherches exploratoires sur la description de la musique par les mouvements de l'auditeur. Ces études s'inscrivent dans un courant de recherche sur la cognition et l'écoute musicale incarnée aux XX^e et XXI^e siècles. L'ensemble des résultats permet d'établir une carte de correspondances entre propriétés rythmiques et propriétés de mouvement corporel. Les données scientifiques sur les liens entre rythme et motricité sont enrichies par les résultats de recherches menées dans le cadre théorique de l'enaction, avec l'étude de la boucle perception-action et du couplage rythme-mouvement.

Nos choix théoriques et méthodologiques sont établis à l'appui de ce cadre et font l'objet du deuxième livre. Le troisième chapitre est consacré à la présentation des hypothèses et arguments théoriques en faveur de l'approche du *mouvement* du rythme par le mouvement de l'auditeur. En outre, la forme dynamique se présente comme un outil conceptuel et méthodologique permettant l'analyse du *mouvement* du rythme via les mouvements de l'auditeur. La méthode d'expérimentation pour décrire le *mouvement* rythmique est le mouvement graphique produit par l'auditeur durant l'écoute du rythme. Elle comporte trois éléments clefs, l'activité d'écoute, le traçage graphique et le sujet. Des données théoriques sont apportées sur le présent psychologique de l'auditeur et l'activité d'écoute musicale, sur la représentation graphique *enactive* comme forme dynamique dont le traçage est potentiellement apte à rendre des aspects dynamiques du rythme, et enfin sur le développement musical et grapho-moteur de l'enfant de cinq ans, sujet qui privilégie le mode de représentation enactif, recourant à la motricité comme moyen de cognition et d'expression. La recherche de terrain est présentée dans le quatrième chapitre avec l'expérience de représentations graphiques *enactives* de patterns rythmiques percussifs par des enfants de cinq ans. On en précise la problématique, les hypothèses théoriques et opérationnelles ainsi que le

montage. L'on rapporte ensuite les résultats bruts recueillis suivis des résultats transformés et l'on présente les outils d'analyse des données.

Le dernier livre est consacré à l'analyse de l'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques, selon les rythmes et selon les auditeurs. Le cinquième chapitre porte sur l'analyse générale de la forme et de la dynamique du graphisme, en lien avec les rythmes écoutés. Il est suivi d'un chapitre dédié au test des hypothèses opérationnelles sur les relations établies par l'auditeur entre des propriétés rythmiques d'intensité, de timbre et de durées et des propriétés formelles et dynamiques graphiques. Dans le septième chapitre, les appariements du rythme et du graphisme sont étudiés par le biais de l'analyse de deux phénomènes audio-moteurs, l'induction motrice des rythmes et la synchronisation grapho-motrice. Dans le huitième chapitre, l'on présente les résultats du test de traduction de la vitesse du graphisme originel à un graphisme résultant, via les quatre rythmes graphiques. Enfin, le bilan de l'expérience est effectué dans un neuvième et dernier chapitre, avant de conclure sur l'ensemble de ce travail et d'envisager quelques approfondissements et prolongements de recherche.

A l'orée de cette thèse, il convient d'en préciser quelques limites. Les unes sont liées à la complexité de l'objet d'étude qui a nécessité d'établir des priorités et d'écarter des aspects très importants de la recherche. Ainsi, d'une part, les données théoriques ont été puisées dans des ouvrages qui traitent conjointement du rythme et du *mouvement*, laissant de côté un vaste domaine de définitions du *mouvement* musical. D'autre part, l'expérience de terrain est restreinte à l'analyse d'éléments musicaux vecteurs de *mouvement* étudiés en priorité avec des outils d'analyse accessibles. Il conviendrait de revenir sur des éléments tout aussi importants, l'accentuation rythmique ou la combinaison de paramètres musicaux, armée d'outils méthodologiques plus performants. Enfin, pour des raisons liées au format de la thèse, il ne pourra être question du traitement de l'émotion et des affects associés à l'écoute musicale alors que la production de mouvement par l'auditeur en est certainement très proche. De même, les mouvements du musicien ne pourront être étudiés, bien que générateurs de *mouvements* rythmiques.

LIVRE 1 : CONCEPTIONS DU MOUVEMENT DU RYTHME

Les conceptions sur le *mouvement* du rythme sont très diverses et non exhaustivement répertoriées. Elles posent d'emblée un problème de terminologie et de définition lié à la polysémie de deux termes centraux de la thèse « rythme » et « mouvement ».

A l'origine, le terme *rythme* vient du grec *rhuthmos*, dérivé de *rhéo*, couler, et désigne la structure temporelle au sens large. Les discussions étymologiques¹ mettent en tension le rythme comme coulant continuellement et le rythme comme mouvement ponctué périodiquement. La notion de rythme semble particulièrement difficile à définir pour deux raisons majeures, selon P. Sauvanet² : d'une part, l'emploi du mot « rythme » dans des domaines différents oblige à une définition commune mais qui sache faire la part du pluriel dans le singulier ; d'autre part, le rythme n'étant ni une chose ni un objet, il ne peut être rigoureusement défini. Bien que l'organisation rythmique soit reconnue comme un caractère essentiel de la musique et du langage³, il n'y a pas de définition universellement acceptée du rythme :

« Il y a autant de définition du rythme que de théoriciens, aucune n'est vraiment satisfaisante, probablement parce qu'une réelle définition n'est pas possible. Il en irait du rythme comme de la distinction de la gauche et de la droite chez Kant : le concept ne pourrait en rendre raison, parce qu'il s'agirait d'une structure *a priori* de la sensibilité. Toute définition du rythme serait plutôt un signe esquissé en direction du lecteur, un appel à son expérience. »⁴

Dans un contexte musical,

« Il semble évident qu'il est trop difficile de donner une seule définition satisfaisante du rythme. Des phénomènes différents se conjuguent dans des domaines différents pour produire des effets rythmiques. Le rythme est un concept fluide et fuyant ; une bonne partie de cette fluidité est due au fait qu'il est toujours lié inextricablement à d'autres dimensions de la musique »⁵.

En dépit de la prééminence du rythme en musique, les définitions, si diverses soient-elles, restent incomplètes du fait que

¹ LONDON, Justin, « Rhythm », *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 2001, vol. 21, p. 277-309.

² SAUVANET, Pierre, *Le rythme et la raison, I Rythmologiques*, Paris, Kimé, 2000.

³ Cutler, 1991 ; Lehisté, 1991, in PATEL, Aniruddh D. and PERETZ, Isabelle, « Is music autonomous from langage ? A neuropsychological appraisal », *Perception and Cognition of Music*, ed. Irène Deliège and John A. Sloboda, Hove, Psychology Press, 1997, p. 202.

⁴ SEVE, Bernard, *L'altération musicale, Ce que la musique apprend au philosophe*, Paris, Seuil, 2002, p. 283.

⁵ AGAWU, Kofi, « Rythme », *Musiques, Une encyclopédie pour le XXIe siècle, Tome 2, Les savoirs musicaux*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Actes Sud, 2004, p. 90.

« Le Rythme-comme le temps et la durée dont il est le découpage-est une notion extrêmement complexe, qui a évolué avec l'intelligence humaine et avec les différents styles du langage musical, notion à peu près impossible à définir en quelques mots, si l'on veut tenir compte de toutes les transformations conceptuelles et techniques dont le rythme a été l'objet. »⁶

Le rythme étant, selon E. Willems, vital et formel,

« Le mot 'rythme' ne peut donc désigner qu'un rapport entre un fait vivant, qui souvent nous échappe, et un concept que nous nous en faisons. »⁷

La littérature scientifique peine également à définir ce concept complexe et subjectif. Parmi les nombreux ouvrages traitant du rythme, il en est dont le contenu vise à le définir d'une manière générale, à étudier sa perception, sa production, ses notations ou ses représentations. D'autres préconisent ou font la synthèse de différentes méthodes d'apprentissage. P. Fraisse⁸ explique le foisonnement des études à ce sujet par l'absence d'une théorie du rythme ou, plus exactement, par le fait que les comportements rythmiques ont des aspects perceptifs et moteurs très complexes.

Quant au « mouvement », l'étymologie⁹ montre combien ce terme est également polysémique. *Mouvement, motion et émotion* proviennent de la racine *movere*¹⁰

Transitif : *moveo, es, ere, movi, motum.*

1 siècle avant J.C. Caesar : émouvoir : susciter l'émotion de ; influencer ; toucher.

1 siècle avant J.C. Cicero : agiter ; ébranler ; écarter ; éloigner ; mettre en mouvement ; mouvoir ; provoquer ; remuer.

1 siècle avant J.C. Vergilius Maro : agiter des idées.

Intransitif : *moveri, motus sum*

1 siècle avant J.C. Cicero : s'agiter ; se remuer.

Mouvement

Provenç. *movemen* ; catal. *moviment* ; espagn. *movimiento* ; ital. *movimento* ; du lat. *movimentum*, de *movere*, mouvoir. Racine *mov*.

Synonymes : « Agitation ; remous ; ardeur ; bouillonnement ; élan ; animation ; trouble ; passion ; remue-ménage ; marche ; effervescence ; émotion ; soulèvement ; tohu-bohu ; vivacité ; révolte ; fougue ; enthousiasme ; activité ; changement ; oscillation ; transport ; évolution ; vie ; turbulence ; secousse ; action ; tendance ; sentiment ; impulsion ; fluctuation ; flot ; cours ; branle ; émeute ; rythme ; course ; ballonnement ; variation ; mobilité ; courant ; caprice ; allure ; train ; remuement ; pétulance ; geste ; flux ; entrain ; désordre ; déplacement ; démarche ; circulation ; bousculade ; insurrection ; progrès ; toquade ; va-et-vient ; vague ;

⁶ MESSIAEN, Olivier, *Traité de rythme, de couleur, et d'ornithologie*, (1949-1992), Tome I, Paris, Ed. Leduc, 1994, p. 40.

⁷ WILLEMS, Edgar, *Le rythme musical, Rythme-Rythmique-Métrique*, Paris, PUF, 1954/1984, p. 8.

⁸ FRAISSE, Paul, *Psychologie du rythme*, Paris, PUF, 1974, p. 192.

⁹ www.littre.org

¹⁰ www.dicolatin.com

fermentation ; entraînement ; développement ; dynamisme ; cadence ; brimbalement ; amour ; position ; poussée ; reflux ; sédition ; tourbillon ; trafic ; manœuvre ; affection ; attitude ; chute ; cohue ; devenir ; exercice ; ondulation ; processus ; progression ; roulis ; saute ; temps ; trajet ; tressaillement ; vacillation ; école ; écoulement ; élévation ; émoi ; mutinerie ; marée ; immigration ; accident ; baisse ; battement ; bouffée ; boutade ; branlement ; cahot ; cahotement ; grouillement ; fonctionnement ; effusion ; convulsion ; comportement ; mécanisme ; nomination ; parti ; partie ; presse ; proportion ; relief ; réflexe ; tempo ; trajectoire ; trémoussement ; mouvant ; motion ; aspiration ; cri ; crispation ; envolée ; gesticulation ; gymnastique ; harmonie ; mesure ; mimique ; motilité ; valse. »¹¹

Antonymes : « Ankylose ; arrêt ; atonie ; calme ; catalepsie ; immobilité ; inaction ; inertie ; inhibition ; langueur ; paralysie ; pause ; repos ; station. »¹²

Mouvement d'un corps

Il se définit en physique comme une variation de position dans le temps :

« Variation de la position d'un point, d'un solide d'un système, étudié dans un référentiel donné, en fonction du temps. »¹³

La branche de la physique qui étudie le mouvement est la mécanique, elle-même subdivisée en deux domaines, la cinématique, « Etude du mouvement des corps, abstraction faite des causes qui le provoquent »¹⁴ et la dynamique, qui s'intéresse aux causes du mouvement, aux forces qu'elle relie au mouvement. Le terme *dynamique*, du grec, *force*, est la « Partie des mathématiques qui traite du mouvement »¹⁵, l'adjectif signifiant « relatif au mouvement »¹⁶.

Dans la littérature musicale anglophone, le terme '*motion*'¹⁷ est principalement utilisé pour parler des évolutions propres au matériau musical, '*movement*'¹⁸ prenant le sens de section d'une œuvre.

Etant donné ces difficultés terminologiques et l'absence de consensus sur la définition des deux termes du sujet, nos premières recherches ont porté sur les diverses conceptions de la notion abstraite et complexe de *mouvement* du rythme. Le cadre théorique est construit selon des points de vue théoriques puis empiriques.

¹¹ Synonymes classés par fréquence d'usage. Cnrtl, Centre national de ressources textuelles et lexicales, CNRS atilf.

¹² *Idem*.

¹³ www.futura-sciences.com

¹⁴ Elle consiste à décrire la manière dont un corps se déplace dans l'espace en fonction du temps. Elle étudie les mouvements des points matériels. Le point étant un objet sans dimensions spatiales, les dimensions de l'objet peuvent être négligées. Ce n'est pas le cas de la cinétique, « théorie partielle de la mécanique, fait appel aux notions de longueur, de temps et de masse. Elle est le prolongement de la cinématique, puisque son élaboration ne demande que l'introduction d'une nouvelle notion : celle de masse. ». Larousse.

¹⁵ Littré.

¹⁶ Cnrtl, Centre national de ressources textuelles et lexicales, CNRS atilf.

¹⁷ Etymologiquement, *motion* est emprunté au latin *motio*, « mouvement » ; Action de se mouvoir, de se mettre en mouvement ; il a pour synonymes : « Impulsion ; mouvement ; proposition. » *Idem*.

¹⁸ '*Motion*' et '*movement*' sont deux termes concurrents et souvent interchangeables ; ils permettent de traduire le mot « mouvement ». Cette distinction fine concerne le caractère passif, *motion*, ou actif, *movement*, ce qui se traduit dans l'expression '*motion without movement*', « agitation sans déplacement ». *Ibidem*.

Dans une première partie réservée à la recherche de définition du *mouvement* du rythme, nous avons analysé les informations théoriques sur le *mouvement* en rapport avec les différentes conceptions du rythme lui-même, de sorte que le premier chapitre est construit selon que le rythme est conçu comme un objet, un phénomène ou une forme dynamique. Dans le premier cas de figure, on rapporte des points de vue émanant des champs de la philosophie et de la musicologie théorique sur le concept de *mouvement* et sur les éléments musicaux vecteurs de *mouvement*. Une deuxième partie est consacrée aux données sur le *mouvement* selon que le rythme est considéré comme un phénomène, une expérience subie ou agie par le sujet. Ces données théoriques proviennent des champs de la philosophie, de la musicologie, de la psychologie de la forme, de la théorie de l'enaction et du domaine de la cognition musicale incarnée. Enfin, un dernier point de vue émane des champs de la philosophie des arts et de la psychologie et envisage le *mouvement* suivant que le rythme est considéré comme une forme dynamique.

Puis, étant donné la place centrale réservée au « sujet » dans la conception du *mouvement*, une revue de question est dédiée à la méthodologie d'approche du *mouvement* par la description corporelle du rythme par l'auditeur. Les données sur les propriétés rythmiques via les propriétés du mouvement corporel sont recueillies dans les champs de la musicologie empirique et de la psychologie de la musique.

1 Recherche de définition du rythme et de son *mouvement*

Une première recherche de définition vise une approche théorique de la notion doublement complexe de « *mouvement* du rythme ». Menée pour l'essentiel dans le champ musicologique, elle est étayée par des apports philosophiques fondamentaux. Les conceptions du *mouvement* propre au rythme musical étant dépendante des points de vue théoriques sur le rythme lui-même, on les présente suivant que le rythme est conçu comme un objet, comme un phénomène, une expérience, ou comme une forme dynamique.

1.1 Le *mouvement* du rythme selon le rythme conçu comme objet-concept

Le principal champ de recherche requis est celui de la musicologie théorique, dont les classifications sémantiques émanent de descriptions réflexives qui ne s'appuient pas directement sur des expérimentations. Toutefois, le champ de la philosophie est saisi en amont comme un outil de connaissance et de compréhension qui permet d'aborder cet épineux problème de définition du rythme et de son *mouvement*.

1.1.1 Essai contemporain de définition générale du rythme

Si le terme « rythme » est polysémique, la notion de *mouvement* de la musique, intuitivement inhérente au rythme, reste une véritable énigme. Cette double aporie nécessiterait une recherche approfondie dans le champ de la philosophie afin de comprendre comment le problème de définition du rythme et de son *mouvement* est envisagé au plus haut degré de généralité. En effet, suivant la remarque de J. J. Wunenburger¹, à défaut de définir abstraitement la notion de rythme, la philosophie peut conduire vers une meilleure élucidation de la nature du rythme et de ses fonctions. Nos premières recherches bibliographiques ont été exclusivement centrées sur des conceptions du rythme qui intègrent la problématique du *mouvement*. Elles mènent à la définition du rythme de P. Sauvanet qui, avec *Rythmologiques*²,

¹ WUNENBURGER, Jean-Jacques (dir.), *Les rythmes Lectures et théories*, Paris, L'Harmattan, 1992, p. 15.

² SAUVANET, Pierre, *Le rythme et la raison, I Rythmologiques*, Paris, Kimé, 2000.

produit un essai de définition philosophique du phénomène rythmique qui se situe à un haut niveau de généralisation. C'est

« une ultime tentative [...] de définir le rythme dans son noyau dur, dans son 'logos spermatique', sans pour autant lui imposer une unique modalité expressive. »³

Partant d'une synthèse de différentes approches du rythme – philosophique, poétique et linguistique, musicologique ou ethnomusicologie, psychologique et chronobiologique, l'auteur développe une approche étymologique, typologique et phénoménologique. Le rythme apparaissant comme un phénomène transversal et interdisciplinaire, le concept doit être un outil suffisamment complexe en compréhension pour pouvoir rendre raison de son extension :

« On conviendra d'appeler rythme : *tout phénomène perçu, subi ou agi, auquel un sujet peut attribuer au moins deux des critères suivants : structure, périodicité, mouvement.* »⁴

Le premier versant de cette définition est phénoménologique. Le rythme semble insaisissable et ne se laisse pas fixer comme tel. Il n'existe qu'à l'instant où il est perçu ou produit. Ceci expliquerait pourquoi le rythme ne peut être totalement et définitivement fixé par des énoncés.

« Une définition parfaite n'existe pas, parce que le rythme n'a pas d'essence, il apparaît et disparaît, il est expérience rythmique, ou il n'est pas. »⁵

Le second versant de la définition est terminologique. Il renvoie à un objet donc à une rationalisation possible du rythme par construction de l'objet. Cependant,

« A la place de l'essence du rythme, il faudra se contenter de certaines propriétés phénoménales, ou mieux, de certains *critères* d'apparition-disparition du rythme. »⁶

Il s'agit de savoir comment et par quoi le rythme se distingue, où et quand le phénomène rythmique apparaît. Trois sous-concepts, Structure, Périodicité et Mouvement, définissent les conditions minimales d'apparition du rythme, le *seuil de rhythmicité*. Cette critériologie permet une analyse conceptuelle du rythme en trois moments séparés. Toutefois, le rythme réel étant une synthèse, la définition est une combinatoire de ces critères. Cet aspect synthétique du rythme est schématisé par les intersections possibles entre les trois ensembles, Structure, Périodicité et Mouvement, comme suit :

³ WUNENBURGER, Jean-Jacques (dir.), *op. cit.*, p. 14.

⁴ SAUVANET, Pierre, *op. cit.*, p. 195.

⁵ *Ibidem*, p. 14.

⁶ *Ibid.*, p. 167.

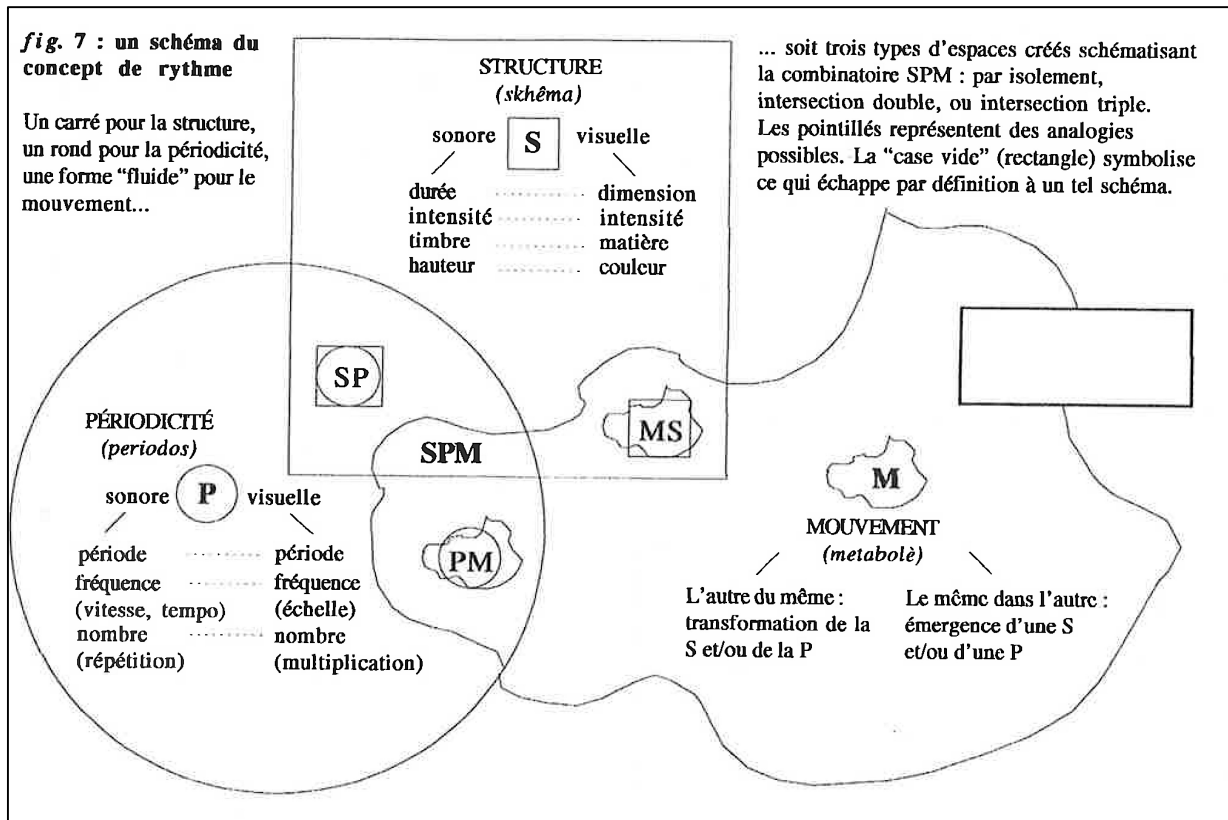


Figure 1: Schéma du concept de rythme selon P. Sauvanet⁷

Si le rythme est compréhensible par la triade conceptuelle S-P-M, il est irréductible à elle. La définition implique que le rythme est un phénomène non quelconque dans lequel se joue un rapport d'interaction entre le sujet et l'objet et dans lequel le concept est toujours débordé par le réel. La part du sujet subissant-agissant le rythme (cf. rectangle vide du schéma ci-dessus) échappe à la raison.

1.1.1.1 Le rythme suivant des critères de structure, de périodicité et de mouvement

Le rythme, considéré ici comme objet, selon son aspect conceptuel et terminologique, est analysé suivant des critères de structure, de périodicité et de mouvement.

La structure⁸ est le motif qui donne sa configuration propre au rythme. En grec, elle se réfère à *skhēma*, figure, manière d'être, forme extérieure, maintien, qui désigne une disposition éphémère, et se distingue de *morphé*, forme, qui constitue l'essence ou l'existence d'un être.

« La structure est en quelque sorte un principe d'individuation et d'identification de tout phénomène rythmique. »⁹

⁷ *Ibid.*, p. 214.

⁸ En anglais, structure renvoie à *pattern*, en allemand, à *Gestalt*.

⁹ *Ibid.*, p. 168.

Une des propriétés fondamentales du rythme est que celui-ci crée la participation directe de chaque élément à l'ensemble du système. Cette structure n'est donc pas perçue comme le résultat de la simple addition des propriétés de ses parties mais comme un tout constitué par l'ensemble des relations entre ses parties. Le rythme fait référence à un modèle de rapports tout/parties de type organique¹⁰, dans la mesure où ses éléments sont solidaires d'une formule rythmique entière.

« Dans ce modèle organiciste, le rythme se conjugue selon la façon dont chaque élément de la structure se meut, dans l'intervalle, vers l'élément suivant tout en contenant le précédent : la liaison des éléments est une sorte d'aimantation réciproque. Le rythme est cette unité multiple, complexe, qui surgit lorsque les parties sont irréductibles au tout, et réciproquement le tout irréductible aux parties. »¹¹

La notion de structure sonore est à la fois universelle et très complexe, partagée en durée, intensité, timbre et hauteur.

Du grec *periodos*¹², la périodicité recouvre l'ensemble des rythmes qui sont perçus ou pensés comme des cycles, des retours, des alternances, des répétitions, des cadences. La perception de la périodicité appelle nécessairement la présence d'un repère. Selon le sens général, rythme signifie « retour, à intervalles sensiblement égaux, d'un repère constant »¹³. La notion de rythme est liée à celle d'attente : après un événement, on attend le suivant. La périodicité crée ainsi une double dimension temporelle à l'intérieur même du sujet percevant, qui se trouve à la fois tiré en arrière et projeté en avant. La force propre du rythme, dans sa périodicité, tiendrait à ce double mouvement entre passé immédiat et futur proche. La période est ce qui est répété ; elle peut donc être elle-même structurée ou non.

Souvent mêlées en pratique, structure et périodicité sont néanmoins distinctes en théorie : il peut y avoir structure sans périodicité – une seule apparition suffit parfois pour identifier une structure simple, comme il peut y avoir périodicité non structurée, qui ne présente qu'un seul repère de début et fin de cycle. Ce cas de la simple pulsation est limite puisque la seule périodicité sans structure ne permet pas d'atteindre le seuil de rythmicité. Isoler la périodicité de la structure permet d'en faire une force à part entière :

« La périodicité de la structure est la force de la forme. »¹⁴

¹⁰ Plutôt qu'à un modèle additif ou à un modèle représentatif : le premier - somme des parties du rythme, confondant rythme et mesure, ne peut rendre compte de la complexité structurelle du phénomène rythmique. Pour le second modèle, le seul cas où il peut être efficace pour penser le rythme est celui des formules cycliques répétées.

¹¹ *Ibid.*, p. 174.

¹² Littéralement « chemin autour ».

¹³ H. Morier, « Rythme », *Dictionnaire de poésie et de rhétorique*, Paris, PUF, 1961, in *ibid.*, p. 177.

¹⁴ *Ibid.*, p. 178.

Le rythme ne naît pas seulement *de* la structure ou *dans* la périodicité : il se configure phénoménalement à travers la dimension du mouvement. L'équivalent grec *metabolè* est préféré à *kinèsis* car son sens est plus proche d'une auto-transformation et d'un changement. Le rythme prend et perd forme à chaque instant. Le phénomène rythmique doit être à la fois prévisible – c'est le propre de sa régularité, la périodicité de sa structure, et imprévisible – c'est par le mouvement que le rythme échappe à sa propre régularité.

« [...] C'est le paradoxe inhérent au rythme : sans régularité, il n'existe pas ; sans instabilité, il s'évanouit. »¹⁵

L'irrégularité, dimension fondamentale du mouvement, s'oppose à tout ce qui est mécanique. Elle se laisse difficilement appréhender *a priori*. Paradoxalement, elle crée la continuité :

« Ce qui donne son caractère continu au rythme, ce n'est pas en soi la périodicité [...], c'est bien plutôt le mouvement, qui déborde la structure et la périodicité par la tension qu'il instaure, et qui 'tisse' de la sorte un rythme comme un tout, par-delà les points de bouclage. »¹⁶

Le mouvement est particulièrement difficile à penser en dehors de son interaction avec la structure et/ou la périodicité. Il

« [...] est sans doute ce qui résiste le plus dans le rythme à l'analyse de la raison. »¹⁷

Ce mouvement n'est pas ce qui viendrait s'ajouter à la structure et la périodicité : il peut aussi être premier et créer par lui-même une structure et une périodicité. Deux types de conception du mouvement émanent de sa combinaison avec la structure et la périodicité. Comme « l'autre du même », le mouvement transforme une structure et/ou une périodicité première (c'est le cas des musiques mesurées). Il concrétise la structure et/ou régénère la période à chaque retour sur elle-même, de façon telle que le rythme est à la fois un autre et pourtant toujours lui-même. Comme « le même dans l'autre », le mouvement premier se structure et/ou se périodise (c'est le cas de toute improvisation).

Deux métaphores sont persistantes dans le discours du mouvement du rythme. Le mouvement apparaît comme la part métaphorique du « jeu » dans le rythme, en un triple sens, musical, ludique et mécanique. Jouer musicalement revient à jouer avec les limites de la mesure. Le mouvement, littéralement, donne du jeu au rythme. Par rapport à la structure abstraite, il est toujours instable, entre deux limites.

¹⁵ A. Souris, in SAUVANET, Pierre, *op. cit.*, p. 190.

¹⁶ *Ibidem*, p. 196.

¹⁷ *Ibid.*, p. 188. Les analyses de la structure et de la périodicité font appel à la psychologie expérimentale, à la musicologie et à la chronobiologie. Le mouvement semble appartenir à une sphère esthétique et philosophique.

« [...] il est peut-être, d'une certaine manière, *ce qui ne peut pas être noté* (et, par là encore, il échappe à la raison). Le mouvement, c'est en un certain sens la 'grâce' si difficile à décrire qui accompagne le processus rythmique. »¹⁸

La seconde métaphore du mouvement comme « vie » du rythme serait une détermination nécessaire : le mouvement est ce qui rend le rythme « vivant », ce qui fait vivre le couple périodicité-structure. Il désigne ce qui entretient le rythme dans sa propre « vie ». Un vitalisme du rythme par le mouvement s'oppose à une trop forte mécanicité ou à une trop grande rationalité.

« Que ce soit en termes de jeu ou de vie, le mouvement ne peut donc se penser dans toute sa complexité qu'à travers une dimension temporelle qualitative : si la périodicité est ce qui temporalise la structure, le mouvement est ce qui la fait évoluer de l'intérieur sans la répéter intégralement, donc ce qui la fait vivre ou mourir par entropie. Sorte de 'principe d'entropie' du rythme, le mouvement communique une information complexe et irréversible. »¹⁹

1.1.1.2 Synthèse du rythme par combinaison des trois sous-concepts

La définition du rythme se divise en trois couples de qualités rythmiques générales.

- **Structure-Périodicité**

Phénomène rythmique minimal, ce couple s'applique à tous les rythmes mécaniques, pensés comme fixes ou perçus comme figés.

« Ce premier couple recouvre l'aspect *métrique* du rythme répétitif, dans son opposition dynamique à l'aspect proprement rythmique, opposition qui se lit en creux dans l'absence de mouvement. »²⁰

Cet aspect métrique d'un phénomène rythmique se rencontre dans différentes expériences esthétiques artistiques, poétiques ou musicales. En musique, pulsation et mesure posent bien la périodicité et la structure mais, faute de mouvement, ne suffisent pas à créer un rythme musical.

- **Mouvement-Structure**

Ce type de rythme est plus difficile à concevoir. Une structure non métrique, sans périodicité régulière, sans isochronisme, se crée à partir du mouvement. Le rythme est sans retour sur lui-même, sans régularité ni cycle perceptible. En musique, une grande partie de la production contemporaine occidentale n'utilise plus de cadre métrique sans pour autant être dénuée de rythme. Dans les pièces où le rythme varie sans cesse, une structure mouvante se fait sentir, par alternance des accents, par la présence d'intervalles de silence ou par le jeu sur

¹⁸ *Ibid.*, p. 192.

¹⁹ *Ibid.*, p. 193.

²⁰ *Ibid.*, p. 198.

les timbres des différentes percussions. Le rythme n'est rapporté à aucune pulsation-repère : l'accent est mis sur la nouveauté, la variété, la non-répétitivité, aux dépens de la périodicité.

- **Mouvement-Périodicité**

Ce couple caractérise l'ensemble des rythmes naturels²¹. Ce sont des rythmes au sens de la périodicité : quelque chose se répète mais sans être structuré en lui-même. En musique,

« On peut imaginer une rythmique oscillatoire dans laquelle le mètre lui-même oscillerait constamment. Le point de repère en mouvement devient alors son propre objet et le rythme est aboli au profit des fluctuations de la pulsation. »²²

- **Mouvement-Structure-Périodicité**

Finalement, l'effet de la combinaison des trois sous concepts Mouvement-Structure-Périodicité vient préciser la définition du rythme :

« Un rythme au sens fort est un phénomène qui, dépassant ses conditions minimales d'apparition, réussit à combiner, à des degrés divers, et dans quelque ordre que ce soit, tous les critères structure-périodicité-mouvement, selon les trois dimensions schématique, périodique, métabolique. »²³

Dans la triade, deux conceptions du mouvement sont possibles, suivant le rapport qu'il entretient à la structure ou à la périodicité. Dans le premier cas, la syncope²⁴ se produit lorsque le mouvement affecte la structure existante tout en conservant la périodicité. Le rythme syncopé introduit la différence dans la répétition, l'autre dans le même, voire l'arythmie dans le rythmique. Le mouvement peut être une variation interne, *dans* la structure de base ou une variation externe, *de* la structure elle-même, celle-ci n'étant pas nécessairement répétée dans son intégralité ni dans son intégrité. Dans le second cas, l'agogique²⁵ est une variation de la périodicité sans variation de structure. Le mouvement peut être soit une variation *dans* la périodicité, à l'intérieur des rapports de temps imposés par la pulsation première, de façon proportionnelle ou non, soit une variation *de* la périodicité, à l'extérieur de ces rapports de temps de façon continue ou discontinue.

Dans le cas d'un double rapport du mouvement à la structure *et* à la périodicité,

« On atteint ici une zone indéterminée, les limbes du phénomène rythmique. »²⁶

La définition générale du rythme de P. Sauvanet indique que le *mouvement* confère au rythme en général, et au rythme musical en particulier une dimension fondamentale d'irrégularité, d'instabilité, de changement et d'imprévisibilité. Il est nécessaire à la structure

²¹ Biologiques, cosmologiques.

²² G. Grisey, « *Tempus ex machina* », *Entretiens*, n°8, 1989, p. 84 in SAUVANET, Pierre, *op. cit.*, p. 204.

²³ *Ibidem*, p. 209.

²⁴ Du grec *sunkopê* et *sunkoptein* « briser », *ibid.*

²⁵ Du grec *agôgê*, transport, direction, allure, action de conduire ou d'être conduit, *ibid.*, p. 210.

²⁶ *Ibid.*, p. 211.

et à la périodicité du rythme musical mais reste difficile à concevoir en dehors de son interaction avec la structure et/ou la périodicité. Il serait, dans le rythme, ce qui résiste le plus à l'analyse de la raison. Comment la musicologie conçoit-elle le *mouvement* du rythme ? Comment envisage-t-elle l'analyse de ce phénomène ?

1.1.2 Recherche de définition du rythme musical

Il serait vain de vouloir dresser ici un inventaire des nombreuses acceptions du rythme musical et impossible de reprendre toutes les théories qui ont jalonné l'histoire de la musique. Nous nous référons à l'essai de l'ethnomusicologue S. Arom qui définit le rythme musical par ses conditions minimales d'existence, conférant un haut degré de généralité à la définition. En effet, comme le souligne J. Molino :

« Un des aspects les plus novateurs de l'ouvrage (de 1985) est le cadrage théorique dans lequel est présentée l'organisation du temps dans les musiques africaines, qui constitue en fait un traité général de rythmique : général, car on y voit la fécondité d'une approche qui, comparant la rythmique africaine et la rythmique occidentale moderne, en dégage une typologie des rythmes à valeur universelle. »²⁷

1.1.2.1 Le rythme musical par ses conditions minimales d'existence

Dans son ouvrage *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d'Afrique centrale*²⁸, S. Arom traite des principes et des caractéristiques générales de la rythmique :

« L'observation de la rythmique africaine et la découverte de ce que nous semble être ses caractéristiques fondamentales nous ont conduit à envisager l'existence d'un dénominateur commun, trait d'union possible entre celle-ci et les principes qui sous-tendent la pratique du rythme telle que nous la connaissons en Occident. »²⁹

Il considère que, dans le cas des musiques mesurées,

« Pour qu'il y ait rythme, il faut nécessairement que des événements sonores successifs soient caractérisés par des traits qui les opposent. Cette opposition peut se manifester de trois façons distinctes, par le biais des *accents*, du *timbre*, des *durées*. Dans la pratique, cependant, le rythme associe le plus souvent – quoique de manière très diverse – ces trois paramètres. Leur distinction, essentiellement théorique, est faite ici pour des raisons de méthode ; elle vise à rendre possible une classification rigoureuse des différents types d'existence du phénomène rythmique. À cette fin, il apparaît indispensable d'examiner chaque paramètre, indépendamment des autres, sous le seul angle du mode d'opposition qui le définit, c'est-à-dire celui de sa pertinence propre. »³⁰

²⁷ MOLINO, Jean, *Le singe musicien*, Paris, Actes Sud/INA, 2009, p. 217.

²⁸ AROM, Simha, *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d'Afrique centrale. Structure et méthodologie*, Vol. I, Paris, Sela, 1985.

²⁹ *Ibidem*, p. 327.

³⁰ *Ibid.*, p. 330.

Les trois paramètres du rythme, accents, timbre et durées, sont précisément considérés comme suit. Comme marque d'opposition, l'accent s'exerce au moyen de l'intensification du son. L'intensité est restreinte à sa manifestation oppositive, contrastive et discrétisable (*forte/piano*) plutôt que graduée et progressive (*crescendo/diminuendo*). Toute manifestation sonore, même la plus élémentaire, est pourvue de timbres qui jouent un rôle contrastif lorsqu'il s'agit de structures rythmiques dont les sons constitutifs ne relèvent pas d'un système scalaire. Quant aux durées³¹, dans le domaine du rythme, une distinction s'impose selon que la musique est mesurée ou non. La musique non mesurée n'est pas soumise à des quantités fixes. La durée de chaque son n'a donc de signification que compte tenu de sa position par rapport à ce qui le précède et ce qui le suit. Par là, elle s'oppose aux musiques mesurées dans lesquelles chaque durée entretient un rapport strictement proportionnel avec toutes les autres.

S. Arom établit une classification des types d'existence du phénomène rythmique suivant le caractère d'opposition³² de ces trois paramètres. La typologie³³ recense neuf formes de manifestation rythmique³³ :

a Durées identiques avec accentuation régulière

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
> > > > >

b Durées identiques avec accentuation irrégulière

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
> > > > >

c Durées identiques sans aucune accentuation, avec alternance régulière de timbre

↓ 9 9 ↓ 9 9 ↓ 9 9 ↓ 9 9 ↓ 9 9

d Durées identiques sans aucune accentuation, avec alternance irrégulière de timbre

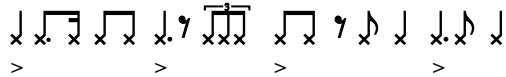
↓ 9 ↓ 9 9 ↓ ↓ 9 9 9 ↓ ↓ 9 ↓

³¹ H. Rivière note que la théorie musicale a conféré une place privilégiée à la durée, ceci du fait du déroulement du rythme sur l'axe du temps. Le paramètre « durée » est doté d'une fonction contrastive (aspect rythmique) ; il est aussi quantité mesurable (aspect métrique). L'auteur incite à dissocier ce double aspect de la durée, compte métrique et manifestation rythmique étant régulièrement confondus. RIVIÈRE, Hervé, « D'un point de vue rythmique... », *Ndroje Balendro. Musiques, terrains et disciplines. Textes offerts à Simha Arom*, éd. Vincent Dehoux *et al.*, Paris, Peeters, 1995, p. 295-301.

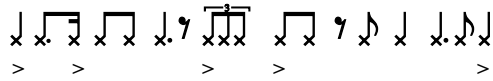
³² AROM, Simha, *op. cit.*, p. 330-332.

³³ « - Les types a et b ont été envisagés pour des raisons théoriques. Le type a est utilisé dans les comptines enfantines et les types a et b se trouvent dans certaines musiques répétitives américaines. Le type a est métrique.
- Les types c et d se trouvent dans les musiques africaines, polyrythmiques.
- Les types e et f sont les plus fréquents et apparaissent simultanément ou successivement. Le type e est le plus communément rencontré dans la musique occidentale d'époque classique. Le type f est présent tant dans polyphonies de l'Ars Nova que dans l'œuvre de Stravinsky.
- Les types g et h se trouvent dans les formations percussives africaines.
- Le type i est celui de la musique grecque et de la rythmique propre à certaines musiques africaines.
Dans une pièce monodique, tous les types peuvent apparaître successivement alors que dans une pièce polyphonique, tous les types peuvent apparaître simultanément. » *Ibidem*, p. 332.

e Durées non identiques avec accentuation régulière



f Durées non identiques avec accentuation irrégulière



g Durées non identiques sans aucune accentuation, avec alternance régulière de timbre

h Durées non identiques sans aucune accentuation, avec alternance irrégulière de timbre

i Durées non identiques sans aucune accentuation ni modification de timbre



Dans cette définition du rythme, H. Rivière distingue le contraste, principe générateur de rythme, et sa mise en œuvre, avec les éléments constitutifs de « l'ensemble paramètres » qui peuvent être questionnés. En effet, si l'ensemble {durée, intensité, timbre} a une réalité musicale effective puisque l'on trouve des musiques de percussions dépourvues de hauteurs mélodiques, sur un plan théorique on peut le considérer comme un ensemble à remplir {durée, intensité, timbre, hauteur, ...}, de sorte que

« [...] le rythme est une manifestation de contrastes au sein de paramètres quelconques. »³⁴

H. Rivière partage avec J. Molino l'idée que, dans une perspective anthropologique, la culture elle-même doit imposer les données qui sont pertinentes et nécessaires à l'analyse. En théorie, on peut éviter de subordonner une définition générale du rythme à une typologie préalable de paramètres musicaux en considérant que

« Le rythme est la manifestation de contrastes au sein de paramètres quelconques culturellement pertinents. »³⁵

Finalement, la combinaison timbre-durées crée du rythme à elle-seule. Elle est donc la condition nécessaire et suffisante pour qu'il y ait musique :

« Les constituants des musiques traditionnelles – comme ceux de toute musique – sont : le timbre, les durées, les hauteurs ; s'y ajoutent l'intensité et le tempo, qui s'appliquent aux trois précédents. Dans la *réalité sonore*, la combinaison timbre-durées permet à elle seule de créer du rythme. C'est donc la condition nécessaire et suffisante pour qu'il y ait musique, alors que la combinaison timbre-hauteurs n'y suffit pas (puisque toute hauteur énoncée est nécessairement pourvue d'une durée). Il convient d'envisager séparément les systèmes d'organisation des hauteurs et des durées. (...) À propos des durées, on parlera de *métrique* et de *rythme*. »³⁶

³⁴ RIVIÈRE, Hervé, *op. cit.*, p. 300.

³⁵ *Ibidem*.

³⁶ AROM, Simha et ALVAREZ-PEREYRE, Frank, *Précis d'ethnomusicologie*, Paris, CNRS édition, 2001, p. 86.

1.1.2.2 Rythme et organisation temporelle

S. Arom distingue trois niveaux d'organisation temporelle, la pulsation, la métrique et la rythmique.

- **La pulsation ou temps musical**

Dans toute musique mesurée, mètre, *tactus*, *beat*, battue, temps, pulsation, désignent des éléments d'une série de repères régulièrement espacés, *i.e.* équidistants dans le temps, qui délimitent le continuum musical en unités égales et servent d'étalon pour l'organisation de toutes les durées qui y figurent. Le terme le plus approprié est celui de mètre, qui vient du grecque *metron*³⁷ et du latin *metrum*. Par *temps* ou *pulsation*, il faut entendre *l'étalon isochrone, neutre, constant, organique, qui détermine le tempo*. Plus précisément, *étalon* signifie délimitant une unité de temps, *isochrone*, réitéré à intervalles réguliers, *neutre*, aucun temps ne se différencie des autres, *constant*, en ce qu'il est, dans le déroulement d'un morceau, le seul élément invariable, *organique*, inhérent à la musique, propre à chaque morceau, *déterminant le tempo*, correspondant au mouvement intérieur de la musique qu'il sous-entend. Ces temps « pulsés » constituent une suite ininterrompue de points de repères en fonction desquels s'organise et se déroule le flux rythmique. C'est en effet par rapport à la pulsation que se définissent toutes les durées manifestes dans le morceau. Cependant, la pulsation n'est pas le rythme.

- **La métrique**

La métrique³⁸ est la manière d'ordonner les unités de temps dans un cadre de référence plus grand, une matrice d'organisation temporelle ou *mesure* dotée d'indications précises relatives non seulement au nombre des valeurs qui y figurent (2/4 ou 4/4) mais aussi à leur mode d'articulation (3/4 ou 6/8). Dès lors, la mesure est *un cadre temporel régulier, marquée par un temps fort opposé à un ou plusieurs temps faibles, au sein duquel les valeurs sont hiérarchisées*. La mesure constitue un niveau d'organisation rythmique élémentaire. Elle est une matrice temporelle qui sert de référence aux durées exprimées.

Durées identiques avec accentuation régulière (type a) :



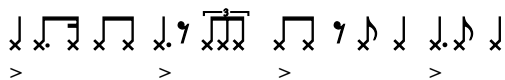
³⁷ Le *metron* est la manifestation de ce qu'indique le métronome ou métron-nome, appareil qui mesure, qui « mètre » le temps.

³⁸ *Ibidem*, p. 110.

- **La rythmique**

De façon générale, dans les musiques soumises à une accentuation régulière, monodiques ou polyphoniques, le rythme opère à deux niveaux d'articulation : l'un naît de la répartition des temps en un certain nombre de cadres de référence semblables (ou *mesures*), définis par la répétition régulière d'un temps accentué. L'autre est celui que déterminent les durées exprimées par des sons ou par des silences. De l'action simultanée du rythme à ces deux niveaux résulte le rythme occidental qui est ainsi doublement articulé :

Durées non identiques avec accentuation régulière (type e) :



La complexité rythmique d'une musique est directement proportionnelle au degré de décalage, d'ambiguïté, qui prévaut entre les niveaux rythmique et métrique.

1.1.2.3 Rythme et mesure

La mesure, qui implique la récurrence régulière d'une marque, constitue un *premier niveau*, élémentaire, d'articulation rythmique : l'attaque d'un son sur le premier temps d'une mesure diffère par l'une de ses propriétés de tous les autres sons qui y figurent.

« Tant que l'articulation rythmique de la substance musicale s'aligne sur la régularité de la mesure, tant qu'elle lui est *commétrique*, ne subsiste que ce premier niveau ; lorsque – comme c'est le plus souvent le cas – elle va à l'encontre de cette régularité, lorsque le groupement des valeurs vient la contrecarrer, s'instaure un deuxième niveau d'articulation rythmique, *contramétrique*. Or, dans les musiques fondées sur une organisation en mesures, la perception du second niveau s'ordonne nécessairement par rapport à la régularité sous-jacente du premier, celui précisément établi par la mesure. C'est le principe de cette double articulation du rythme qui constitue le fondement même de l'organisation temporelle de la musique. »³⁹

Sous l'angle de la perception, le conflit entre la régularité de la mesure et l'articulation contramétrique du rythme suscite un effet d'ambivalence, directement tributaire du degré de divergences entre ces deux éléments.

Dans le rythme, de nombreux éléments s'interpénètrent. Ainsi, dans les musiques mesurées, *rythme* et *mètre* se trouvent en interaction permanente. Toutefois, la majorité des théoriciens de la musique contemporains adopte une séparation forte du rythme et du mètre en domaines ontologiques et analytiques séparés⁴⁰. Les différences saillantes entre rythme et

³⁹ *Ibid.*, p. 114.

⁴⁰ LONDON, Justin, "Rhythm", *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, vol. 21, 2001, p. 277-309.

mètre dans la musique et dans la tradition musicologique de l'Ouest peuvent être synthétisées comme suit :

		Rythme	Mètre
Nature	Constituants	Série de durées ou de laps de temps (<i>time-span</i>)	Série d'articulations ou de points dans le temps (<i>time-points</i>)
	Forme	Groupe	Mesure
Fonction		« Quoi » : objets formés par la concaténation de phénomènes qui ont une durée	« Quand » : moyen de localiser les durées de temps
Accent	Type	Rythmique	Métrique
	Origine	Aspects phénoménaux de la surface musicale comme les différences dans l'intensité, la durée, le contour, etc.	Engagement actif de l'auditeur avec la musique, retombées du comptage/frappé de pied
	Localisation	N'importe où dans un groupe rythmique.	Toujours le premier événement dans une mesure.
Régularité		Généralement non régulier. Groupes typiquement composés de durées variées en leur sein	Généralement régulier. Battements isochrones régulièrement espacés
Succession	Continuité	Pas de lacunes dans un groupe	Pas de lacunes ou pauses à l'intérieur d'une unité métrique, dans une mesure
	Contiguïté	Souvent, interstice entre des groupes rythmiques successifs	Pas de vides ou pauses entre mesures successives
Prédictibilité		Faible Patterns rythmiques souvent non répétés Peu fiable pour anticiper les événements à venir	Forte Patterns métriques généralement constants Base fiable d'anticipation des événements suivants

Tableau 1: Différences saillantes entre rythme et mètre dans la musique occidentale

Une organisation rythmique n'implique pas un nombre déterminé de valeur. Dans les musiques mesurées – où les durées présentent entre elles des valeurs proportionnelles – l'organisation rythmique est sous-tendue par une armature métrique, système d'étalonnage du temps. La métrique, qui étalonne le temps, est d'ordre *quantitatif*. Le rythme, en ce qu'il concerne le groupement des durées, est d'ordre *qualitatif*.

« ...On peut poser d'emblée l'axiome suivant : la métrique concerne *l'étalonnage du temps en quantités-ou valeurs-égales* ; le rythme, *les modalités de leur regroupement*. Le groupement des valeurs-qui entretiennent obligatoirement un rapport strictement proportionnel avec l'étalon de temps-engendre une structure sonore, délimitée et donc perceptible. La métrique est un *continuum*, le rythme est une *forme temporelle*. Pour faire image, on peut dire que la métrique est la trame muette sur laquelle le rythme se déploie. »⁴¹

⁴¹ AROM, Simha, *op. cit.*, p. 201.

La conception du rythme de S. Arom intègre les critères de structure et de périodicité sans considérer explicitement le *mouvement* du rythme, hormis le fait que le flux rythmique s'organise et se déroule en fonction des points de repères que constituent les temps « pulsés ». Selon C. Hasty, les modes de descriptions qui traitent du rythme musical et du mètre comme des entités statiques, comme des patterns, distordent fortement la nature de l'objet musical. Considérer le *mouvement* dans la définition du rythme musical pourrait viser à combler le fossé entre la fixité de ce qui peut être saisi comme ordre de l'abstraction et la fluidité d'un ordre senti dans l'expérience⁴². Comment le rythme est-il défini et analysé en termes de *mouvement* par la musicologie théorique ? Comment envisage-t-elle la question de ces propriétés dynamiques ?

1.1.3 Mouvement sonore du rythme: points de vue de la musicologie théorique

Les informations scientifiques émanent de recherches menées au XX^e siècle en musicologie théorique qui traitent conjointement du rythme et du *mouvement*. Auparavant, l'analyse du *mouvement* musical selon B. Vecchione apporte des données utiles à la description du *mouvement* du rythme.

1.1.3.1 Analyse du mouvement musical

S'intéressant au *mouvement*⁴³ comme propriété de la substance musicale, B. Vecchione le considère à la fois comme caractéristique globale de la matière musicale et de la forme et comme moyen d'expression. Il envisage deux types d'analyse musicale qui résultent de deux conceptions possibles du *mouvement*. Une analyse en rend compte par les paramètres qui le créent. Elle vise à établir une taxinomie des facteurs de mobilité. Une autre analyse, globalisante, envisage le *mouvement* comme une propriété d'ensemble de la matière musicale et vise à établir une typologie des formes du *mouvement*. La recherche autour du *mouvement* musical porte donc nécessairement sur ce double plan.

- **Typologie des facteurs de mobilité**

Les facteurs musicaux qui créent le *mouvement* sont les suivants :

- *Constance et variabilité des facteurs musicaux* : un *facteur constant* reste bloqué sur l'une de ses valeurs pendant la totalité d'une section formelle ou tout au long d'une œuvre. Un *facteur*

⁴² HASTY, Christopher, *Meter as Rhythm*, Oxford University Press, 1997.

⁴³ VECCHIONE, Bernard, « Eléments d'analyse du mouvement musical », *Analyse musicale*, 3^e trimestre 1987, p. 17.

*variable*⁴⁴, à l'inverse, prend un certain nombre de valeurs distinctes dans le courant d'une œuvre. Un même complexe musical peut se décomposer à la fois en ces deux types de facteurs.

- *Blocage-libération d'un facteur* : un facteur momentanément constant est un facteur bloqué. Un facteur bloqué est libéré au moment où il se met à varier.

- *Facteurs oppositionnels et variables systématiques* : certains facteurs se manifestent dans une opposition binaire et permettent de segmenter une œuvre ou un passage caractérisé par la présence de l'un ou l'autre des termes de l'opposition. Lorsque plus de deux valeurs sont mises à contribution, on peut considérer la variable comme systématique.

- *Mobilité discrète et mobilité continue* : la mobilité d'un facteur peut s'obtenir de deux façons, par substitution d'une de ces valeurs à une autre ou par variation continue. Une variable est discrète si ses valeurs les plus proches sont nettement séparées ; elle est continue si le passage d'une de ses valeurs à une autre se fait insensiblement. Une variable discrète engendre un mouvement par saut alors que pour une variable continue, il peut y avoir glissement. Selon le contexte, une variable peut changer de statut.

- *Convergence-divergence d'évolution* : deux facteurs non divergents convergent nécessairement.

- *Mouvements linéaires et circulaires* : une variable linéaire, par exemple les échelles de hauteur, de durée, d'intensité, prend ses valeurs dans un ensemble totalement ordonné possédant une borne inférieure et une borne supérieure. Une variable circulaire⁴⁵ est construite de telle façon que, s'éloignant dans une direction donnée d'une valeur donnée, on revienne, au bout d'un certain temps, à cette valeur sans avoir changé de direction. La linéarité et la circularité des variables amène à la définition des *mouvements* correspondants.

- *Variables quantitatives et qualitatives* : une variable quantitative, par exemple les durées, tempi, intervalles mélodiques et harmoniques, prend ses valeurs dans un ensemble de nombres ; une variable qualitative, comme les nuances, timbres et sonorités, modes d'articulation et modes d'attaque, dans des ensembles de qualités qui conservent une organisation non assimilable aux structures numériques.

- *Variables nominales, ordinales, pré ordinales, graduées et métriques* : la structure, qualitative⁴⁶ ou quantitative⁴⁷, des variables musicales se détermine par rapport aux opérations que l'analyste est capable d'effectuer sur l'ensemble de valeurs. Chacune de ces structures permet la réalisation de *mouvements* spécifiques.

⁴⁴ Par exemple, hauteurs, durées, harmonies, intensités, tonalités, timbres dans une œuvre orchestrale, sonorités, registres, vitesse, agogiques, densité polyphonique, masses, modes d'articulation et modes d'attaque.

⁴⁵ Par exemple le cycle des tonalités par quintes.

⁴⁶ Classification, ordination, préordination.

⁴⁷ Graduation d'un préordre et calcul d'une distance sur un préordre préalablement gradué.

L'étude du mouvement ne peut toutefois se ramener à l'échelle d'un paramètre musical unique. Pour prendre le phénomène dans sa complexité, il faut tenir compte de la combinaison des facteurs qui l'induisent et, dans chaque cas, déterminer par une étude d'ensemble lequel des innombrables paramètres intégrés est dominant.

- **Typologie des formes de *mouvements* musicaux**

Le *mouvement*, envisagé dans une perspective phénoménologique globalisante, est considéré comme une résultante d'ensemble. Le niveau d'analyse musicale porte donc sur l'œuvre entière. Le *mouvement* est étudié en termes dialectiques de mobile/immobile, dynamique/statique :

- *Le mobile et le mouvant* : deux formes élémentaires de *mouvements* s'opposent et peuvent se composer : le mobile, *mouvement* trajet, et le mouvant, *mouvement* interne à la matière sonore.

- *Equilibre dynamique* : il s'agit d'un type plus élaboré de *mouvements* internes à la matière qui laisse la forme d'ensemble inchangée. Une immobilité d'ensemble peut être obtenue par animation permanente de la matière en équilibre dynamique.

- *Homéostasie* : ce processus maintient la structure musicale en équilibre dynamique permanent.

- *Morphorhèse et morphogenèse* : la morphorhèse⁴⁸ est un type d'évolution qui s'effectue par développement des potentialités internes d'une structure tandis que la morphogenèse nécessite une différenciation des structures, avec l'apparition d'éléments autres, régulièrement engendrés par continuité.

Ce point de vue musicologique sur le *mouvement* comme une propriété de la substance musicale est particulièrement riche. Il propose deux outils d'analyse qui portent l'un sur des facteurs de mobilité, les paramètres musicaux combinés qui créent le *mouvement*, l'autre sur la forme globale du *mouvement*, qui peut être qualifiée en termes dialectiques. La complexité du phénomène est liée à la combinaison des facteurs inducteurs de *mouvement* et une analyse d'ensemble doit déterminer un facteur dominant parmi ces facteurs combinés. Sur quels critères effectuer la sélection d'un facteur dominant au sein d'un matériau musical composite ? Le choix de cet élément paraît aussi difficile et subjectif que déterminant.

B. Vecchione envisage le *mouvement* musical sans spécifier ce qui attrait au rythme. A partir de sa double conception du *mouvement* musical, nous recherchons des formes de *mouvement* élémentaires, *i.e.* dont le déroulement temporel est relativement court, et des facteurs de mobilité propres au rythme.

⁴⁸ L'ensemble des transformations d'un même matériel thématique est un cas de morphorhèse (ex : *Le boléro* de M. Ravel).

1.1.3.2 *Forme élémentaire de mouvement du rythme*

En dépit de repères musicaux différents, divers musicologues s'accordent sur le lien privilégié entre rythme et *mouvement*. A. Mocquereau estime que la qualité de *mouvement* sonore revient au rythme en particulier. Elle en est l'élément essentiel mais aussi le plus abstrait, donc très difficile à expliquer :

« Ce *mouvement unique* avec son début et sa fin, son *élan* et son *repos*, est l'élément essentiel et en même temps le moins *matériel* du rythme ; par suite le plus difficile non pas à saisir mais à expliquer. Il est la *forme, l'âme* du rythme ; il est le rythme lui-même... Voici mis à nu et dans toute sa simplicité le fondement sur lequel repose le rythme ; le rythme de toutes espèces – instrumental, vocal, poétique, oratoire, orchestrique – ; rythme de tous pays, de tous temps, car ce fondement repose sur la nature humaine. »⁴⁹

En référence à la philosophie grecque antique, E. Willems lie les trois éléments du rythme musical – rythme, rythmique et métrique – au *mouvement* et à l'ordre :

« Le rythme est le mouvement ordonné. La rythmique est l'ordonnance du mouvement. La métrique est la mesure du mouvement. »⁵⁰

Selon O. Messiaen, la source et les dérivés du rythme sont apparentés aux mouvements des flots, au flux, à l'écoulement, étant donné que

« La racine indo-européenne du mot rythme, *SREU*, signifie couler. Les principaux dérivés sont en Sanskrit : *sravati*, il coule ; Grec : *rheô*, couler – *rhoos, rheuma*, écoulement – *rhuthmos*, mouvement des flots, rythme ; Allemand : *Strom*, cours d'eau – *strömen*, couler à flots ; Anglais : *stream*, cours d'eau ; Espagnol et Italien : *ritmo*, rythme ; Français : rythme. »⁵¹

Il précise que le rythme

« [...] se rattache donc primitivement au mouvement, mais au mouvement répété avec des variantes toujours nouvelles, c'est-à-dire à l'infini de la périodicité irrégulière. »⁵²

- **Forme rythmique élémentaire et prototype formel de *mouvement***

A. Mocquereau distingue matière et forme, dans le rythme. Il ordonne les différentes matières selon leur complexité, avec le son pur – instrumental ou vocal – répété à l'unisson, la mélodie pure, la parole chantée ou parlée, l'harmonie. La forme du rythme est la mise en ordre du *mouvement* : pour constituer un rythme, des *mouvements* sonores doivent être mis en ordre et être harmonieusement disposés. Cette conception du *mouvement* en musique remonte à

⁴⁹ MOCQUEREAU, Dom André, *Le nombre musical grégorien ou rythmique grégorienne*, Paris, Desclée et Cie, 1908/1927, p. 52.

⁵⁰ WILLEMS, Edgar, *op. cit.*, p. 22.

⁵¹ Etymologie empruntée par O. Messiaen au « Dictionnaire des racines » de R. Grandsaignes d'Hauterive, MESSIAEN, Olivier, *op. cit.*, p. 39.

⁵² *Ibidem*.

l'Antiquité grecque où une même rythmique informe danse, musique et poésie, la danse étant à l'origine d'un des concepts les plus essentiels au rythme, l'élan et le repos.

« Les Grecs empruntèrent au mouvement rythmique local de la danse deux expressions claires, lumineuses qu'ils appliquèrent aux mouvements rythmiques sonores, vocal ou instrumental. Ils appelaient *arsis* (*elevatio*) le mouvement ascensionnel, l'élan du corps ; et *thesis* (*positio ou depositio*) [...] le repos du corps, un point terminus de son mouvement. En conséquence dans la musique vocale ou instrumentale, et dans la poésie, ils appelaient *arsis*, élévation, élan, les sons et les syllabes qui concordaient avec l'élan du corps ; et *thesis* les sons et syllabes qui se chantaient au moment même où les danseurs touchaient le sol, soit pour prendre un simple appui et s'élever de nouveau, soit pour achever la marche par un mouvement définitif. »⁵³

Pour pénétrer l'essence du rythme en musique, il est nécessaire de comprendre et d'expérimenter ce *mouvement* d'élan et de repos qui lui confère son unité :

« Ces élans suivis de *repos*, de *chutes*, de *cadences*, ces ondulations sonores que nous sentons nous-mêmes, que nous comprenons... Voilà le *Rythme* dans sa notion foncière et primordiale. Grâce à lui, des notes naguère isolées, sans relation entre elles, ne font plus qu'une entité, qu'un mouvement rythmique : premier effet synthétique que nous voyons produire au rythme. C'est le rythme au premier degré, le rythme simple ou élémentaire. »⁵⁴

Plusieurs corollaires⁵⁵ découlent du principe fondamental de *mouvement* rythmique. Le *mouvement* est la cessation du repos, de l'immobilité, comme le *repos* est la cessation ou l'arrêt du *mouvement*. Tout *mouvement* suppose un repos immédiatement précédent ; la longueur d'un son est le signe de la fin des rythmes ; le repos clôt tous les rythmes ; le rythme marcherait naturellement à pas binaires et ternaires alternant harmonieusement les uns et les autres ; l'*arsis* et la *thesis* sont les deux phases d'un *mouvement un et indivisible*.

Ces deux moments du rythme sont nettement distincts et de nature quasi opposée⁵⁶ : l'*arsis*, *levé*, *anacrouse* est le moment le plus court et/ou le plus faible et/ou le plus léger. Il intervient le plus souvent en premier lieu, ce qui donne l'impression que la musique prend son élan. La *thesis*, *frappé*, *posé* est un moment plus long et/ou plus fort et/ou plus pesant. Il prend normalement place en seconde position.

Dans son ouvrage sur *le temps musical*⁵⁷, C. Accaoui décrit les traits saillants du rythme à l'époque classique tout en le situant dans la tradition. Analysant la forme rythmique à différentes échelles d'une œuvre, il constate qu'au plan local toutes les notes regroupées au

⁵³ MOCQUEREAU, André, *op. cit.*, p. 21.

⁵⁴ *Ibidem*, p. 46.

⁵⁵ *Ibid.*, p. 107.

⁵⁶ SUTER, Louis-Marc, *Le langage musical de l'Europe occidentale*, Tome 1, Sprimont, Mardaga, 2005, p. 42.

⁵⁷ ACCAOUI, Christian, *Le temps musical*, Paris, Desclée de Brouwer, 2001.

sein d'unités rythmiques élémentaires⁵⁸ sont gouvernées par le prototype formel élan-retombée :

« A l'échelle de l'unité élémentaire, nul doute que le rythme ne soit cette 'forme dans l'instant', mouvante, mobile, fluide. Forme unique (élan/retombée), aux innombrables variations. »⁵⁹

En raison de la spécificité du développement classique, un modèle ternaire élan-sommet-retombée se substitue au modèle binaire élan-retombée. Ainsi, la dyade *arsis-thesis* est remplacée par la triade anacrouse-accent-désinence, forme rythmique fondamentale du discours classique. Précisément, l'*arsis* devient anacrouse et la *thesis* se dissocie en deux moments, accent et désinence. L'anacrouse est élan, impulsion, essor, expansion, tension progressive graduelle, énergie croissante aboutissant à l'accent. L'accent, point de culmination et d'équilibre, est à la fois tension maximale et début de relâchement. Enfin, la désinence provoque l'impression de détente, déclin, retombée, retour, énergie décroissante.

Dans le flux musical, le rythme peut être entendu comme alternance de tension-détente⁶⁰ ; leur répartition crée des mouvements d'énergie différents.

« L'alternance de tensions et de repos est essentiellement dynamisante. »⁶¹

C. Accaoui considère que le rythme classique résulte en une force désignée par « énergie », dont les variations produisent le rythme. Cette énergie, du grec *energeia*, force en action, est la résultante synthétique des forces des divers paramètres sonores et des figures du discours.

« Le rythme est donc synthèse énergétique, et particulièrement de Haydn à Schubert où il peut être défini comme *la distribution ordonnée de l'énergie dans le temps*. »⁶²

- **Ordre ou langage du mouvement rythmique**

A. Mocquereau réduit l'ensemble des phénomènes complexes qui entrent dans la composition du son à quatre ordres

« Nous appelons *ordres* l'ensemble des lois qui règlent l'emploi de la durée, de la dynamique, de la mélodie et du timbre. »⁶³

⁵⁸ Selon C. Accaoui, l'unité rythmique élémentaire a la qualité du rythme dans la mesure où elle possède la forme élan/retombée mais elle n'est pas le rythme lui-même. Celui-ci naît de la concaténation de plusieurs unités, opération qui dessine des unités rythmiques complexes se combinant à leur tour pour constituer des unités rythmiques plus grandes encore. Toutes les propriétés temporelles du rythme observables à l'échelle de l'unité élémentaire se retrouvent à l'échelle des unités complexes.

⁵⁹ *Ibidem*, p. 145.

⁶⁰ DESEQUELLES, Anne-Claire, *L'expression musicale*, Berlin, Peter Lang, 1999.

⁶¹ MEUNIER-FROMENTI, Jacqueline, *Musique et mouvement*, Paris, Vigot, 1991, p. 23.

⁶² ACCAOUI, Christian, *op. cit.*, p. 127.

⁶³ L'*ordre quantitatif*, élément principal du rythme, comprend tous les phénomènes de durée ; L'*ordre dynamique* comprend toutes les manifestations d'intensité ; L'*ordre mélodique* concerne les intervalles des sons,

plus un, l'*ordre rythmique* proprement dit ou

« Ordre cinématique ou ordre du mouvement rythmique. Il comprend tous les élans, les repos, toutes les ondulations sonores si variées, si vivantes, si expressives de la phrase rythmique. »⁶⁴

O. Messiaen reprend et augmente ces ordres de phénomènes dans les ordres rythmiques. Il substitue « langage » à « ordre » et aboutit à quatorze langages rythmiques. Suivant ces deux auteurs, dans une même musique peuvent coexister :

A. Mocquereau⁶⁵	O. Messiaen⁶⁶				
Phénomènes entrant dans la composition du son	Ordres de phénomènes	Ordres rythmiques		Langages rythmiques	
Durée ou quantité	Quantitatif	Quantitatif	Durées longues et brèves	1/ Durées	
Intensité ou dynamique	Dynamique	Dynamique	Intensité, sons forts faibles, Crescendo-decrescendo, Densité ou nombre de sons simultanés	2/ Intensités 3/Densités	Epaisseur Nombre de sons simultanés
Hauteurs ou mélodie	Mélodique Intervalles de sons gammes système mélodique, modes	Hauteurs	Acuité, gravité, changement de registre	4/ Hauteurs	
Timbre ou qualité phonétique	Phonétique	Phonétique	Timbre, Attaque	5/ Timbres 6/Attaques	Legato, louré, staccato, sforzando, etc
Elans, repos, Ondulations sonores variées, vivantes, expressives de la phrase rythmique	Rythmique ou cinématique ou ordre du mouvement rythmique	Cinématique⁶⁷ du mouvement rythmique	Alternance des arsis et des thesis, Lois de l'accentuation	7/Mouvements rythmiques	Arsis/thesis, accentuation

les gammes, systèmes mélodiques ou modes ; L'*ordre phonétique* embrasse toutes les différences de timbre. MOCQUEREAU, André, *op. cit.*, p. 29.

⁶⁴ *Ibidem*, p. 30.

⁶⁵ *Ibid.*, p. 29-30. La différenciation de ces divers phénomènes est un pur instrument d'analyse qui vise la clarté. En réalité, la construction du rythme est une opération synthétique.

⁶⁶ MESSIAEN, Olivier, *op. cit.*, p. 44-47.

⁶⁷ « Ne pas confondre avec cinétique : théorie du mouvement des particules matérielles. », *Ibidem*, p. 44.

			Rallentando accelerando, Différences de tempo	8/ Tempi	Rallentando accelerando, Différences de tempo
		Interversions de durées		9/Interversions des durées	Toutes intersersions possibles
		Polyrythmique		10/ Polyrythmique	
		Des résultantes de la polyrythmie		11/ Résultantes de la polyrythmie	
				12/ Harmonie	
				13/ Lieux musicaux	Lieu= modalité, tonalité, polymodalité, polytonalité, atonalité, série dodécaphonique, etc.
		Du silence ⁶⁸		14/ Silence	Silences de prolongation, de préparation et de vide.

Tableau 2: Filiation entre Ordres de phénomènes de A. Mocquereau et Langages rythmiques de O. Messiaen

Le *mouvement* rythmique est conçu ici en termes d'alternance des arsis et des thésis, d'accentuation, avec l'intervention de *rallentando*, d'*accelerando* et de variations du tempo dans le phénomène.

⁶⁸ G. Bachelard dans le chapitre « Les métaphores de la Durée » de *La dialectique de la durée*, Paris, PUF, 1950, établit un lien entre durée, intensité et hauteur, nouant à la dialectique du long et du bref non seulement la dialectique du fort et du faible mais encore celle de l'aigu et du grave. Les rythmes étant construits sur la dialectique du son et du silence, celui-ci est reconnu par G. Bachelard comme un élément primordial du rythme musical, suggérant à O. Messiaen un nouvel ordre rythmique, presque négatif, l'ordre du silence.

1.1.3.3 Facteurs de mobilité du rythme

L'analyse du *mouvement* dans le rythme revient à décomposer le rythme en ses éléments et à étudier leurs relations temporelles, leur articulation au sein de la forme. Quels sont les facteurs de mobilité du rythme ? Quels phénomènes mettent la forme rythmique en *mouvement* ?

- **Facteurs isolés de mobilité**

L'ordre des *mouvements* rythmiques fait appel à l'organisation musicale des durées et des intensités, selon A. Mocquereau, et aux lois de l'accentuation, selon O. Messiaen. En termes de classification, il pourrait constituer un super-ordre rythmique par l'effet de la combinaison des ordres quantitatifs et qualitatifs, combinaison qui indique par ailleurs la complexité du phénomène de *mouvement* et donc la difficulté de son analyse.

Durée et organisation des durées

A. Mocquereau indique que le *mouvement* du rythme – élan et repos – se manifeste au moyen de phénomènes appartenant à l'ordre quantitatif : la durée variée de temps simples génère le *mouvement* rythmique. La différence de quantité, de longueur, entre les deux notes, l'une brève l'autre longue, suffit pour produire le *mouvement* rythmique. Cette série inégale fait naître le sentiment qu'une relation intime s'établit entre la brève et la longue. La brève paraît un début, un point de départ, un élan. Elle semble animée, en mouvement. La longue, au contraire, paraît une fin, une arrivée, une cadence, une chute. Elle est un arrêt, un repos, provisoire pour les deux premières longues, définitif pour la dernière. Ce sentiment d'élan et d'arrêt est d'autant plus vif que la note brève est plus rapide. Des effets artistiques résultent des durées variées du son :

« Les sons longs, comme opposés aux courts, ont un effet calmant ; les courts, un effet d'animation. Une succession d'un grand nombre de sons courts est excitante, agitée ; une succession de sons longs est majestueuse, digne, voire écrasante ou oppressante. »⁶⁹

L'alternance des brèves et des longues est alternance d'instabilité et de stabilité :

« Longues et brèves, par leur qualité cinétique, correspondent aux deux aspects complémentaires de l'énergie. Dans le cours des événements musicaux, les longues thétiques constituent des pauses, des repos ; pendant leur durée, la force motrice qui pousse vers l'avant diminue, semble s'apaiser, sans jamais s'interrompre, si ce n'est par la note finale, *thesis* par excellence, qui est cessation du rythme, retour au silence [...]. Les brèves, au contraire,

⁶⁹ RIEMANN, Hugo, « Rhythm », *Dictionary of Music*, London, Augener, 1931, p. 651-652.

impliquent une augmentation de cette force, un regain d'activité, un accroissement du dynamisme qui propulse les événements musicaux vers l'avant, vers l'avenir. »⁷⁰

Si les durées déterminent en grande partie la *cinétique* de la musique classique, la motricité des événements musicaux, cependant, comme le précise C. Accaoui, quatre plans interfèrent et sont facteurs de stabilité ou d'instabilité, de statisme ou de dynamisme :

Plans	Facteurs de stabilité	Facteurs d'instabilité
Métrique	Valeurs longues	Valeurs brèves
Mesure	Temps faibles	Temps forts
Pulsation	Sur la pulsation	Entre deux pulsations
Tempo	Lent	Rapide

Tableau 3: Cinétique de la musique classique : Facteurs de stabilité et d'instabilité

Des phénomènes de tempo et de déviation sont intégrés à l'organisation des durées. Si le « tempo »⁷¹ est littéralement le « temps » d'une composition musicale, le terme est plus communément utilisé pour décrire la vitesse musicale et réfère strictement parlant à l'allure d'une pièce musicale. Une série continue de durées brèves n'implique pas nécessairement un sens du tempo rapide, tout comme une série de durées longues n'implique pas nécessairement un sens du mouvement lent. La subdivision d'une durée en note de moitié, du tiers ou même du quart de la valeur originale ne donne pas nécessairement lieu à un doublement, triplement ou quadruplement du tempo perçu. Le tempo est donc un effet composite de la structure musicale. Un sens du tempo et du *mouvement* est une propriété hiérarchiquement émergente de la surface musicale et non simplement un produit des transitions note à note. Selon P. Sauvanet,

« [...] le tempo peut faire partie du rythme comme un de ses éléments de périodicité (dans sa constance et sa fréquence propre), et [...] de mouvement (dans sa variation, sa possibilité d'accélération ou de décélération, continue ou discontinue). »⁷²

L'analyse de la périodicité s'intéresse davantage à l'existence d'un repère fixe qu'à ce qui est contenu dans l'intervalle entre deux repères. La *vitesse* du rythme est ici la caractéristique fondamentale. La fréquence⁷³ est le *tempo* qui, en tant que vitesse relative d'un phénomène rythmique, est une donnée extrinsèque par rapport à la structure et intrinsèque par rapport à la périodicité.

⁷⁰ ACCAOUI, Christian, *op. cit.*, p. 138-139.

⁷¹ It. "Time", Fr. "Mouvement"; Ger. "Zeitmass", LONDON, Justin, *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, vol. 25, 2001, p. 270-271.

⁷² SAUVANET, Pierre, *op. cit.*, p. 180.

⁷³ La fréquence est l'inverse mathématique de la période ($f=1/p$).

Le tempo est entrelacé avec notre sens de la pulsation et du mètre : il est en effet difficile d'imaginer un sens de tempo sans une série régulière de pulsations. Dans un contexte métrique, notre sens du tempo est ce qui nous permet de distinguer les subdivisions de battements et les battements des temps forts. La hiérarchie métrique entière, des plus petites subdivisions aux plus grands niveaux d'hypermètre, joue un rôle pivot dans l'établissement de cette *Gestalt* complexe. Comme D. Epstein le note,

« le tempo est une conséquence de la somme de tous les facteurs à l'intérieur d'une pièce – le sens global des thèmes, des rythmes, des articulations, 'de la respiration', du mouvement, des progressions harmoniques, du mouvement tonal, de l'activité contrapuntique. Le tempo est une réduction de cette forme complexe en l'élément de vitesse en soi, une vitesse qui permet au groupement intégré total des éléments musicaux de circuler avec un sens qui lui revient. »⁷⁴

Même à l'intérieur des passages qui semblent être d'un tempo stable, le taux de battements n'est pas constant mécaniquement, hormis dans les performances qui impliquent des moyens mécaniques ou électroniques d'articulations de battements et des rythmes. De plus, dans une performance normale, le tempo fluctue systématiquement à l'intérieur de barres de mesure et de la phrase musicale. L'*agogique*, terme introduit par H. Riemann vers 1884 a alors trait aux légères modifications de tempo et a à peu près le sens de *rubato*. Il a comme parallèle et complément le terme « dynamique » qui désigne les valeurs d'intensité. Les nuances agogiques sont généralement liées à des nuances dynamiques : un *accelerando* comporte souvent un *crescendo* et un *rallentando*, un *decelerando*.

Intensité et organisation de l'intensité : dynamique⁷⁵

A l'ordre quantitatif des durées, A. Mocquereau ajoute les phénomènes qui relèvent de l'ordre dynamique, partie de l'expression musicale concernée par le volume sonore⁷⁶ : intensité, force et faiblesse des sons, *crescendo* et *decelerando*. Ils ont pour fonction de renforcer les *mouvements* d'élan et de repos. Rien n'exige de place réservée à l'intensité qui joue son rôle lors de l'élan ou du repos. Deux sortes de rythmes sont relatifs à l'intensité : le rythme ictique fort, dont la thésis est plus forte que l'élan, et le rythme ictique faible, dont la thésis est plus faible que l'élan. La dynamique a une puissance vivifiante et synthétique qui s'exerce au niveau des rythmes les plus simples et des grands rythmes. Elle augmente l'unité du rythme en réunissant les sons en un *mouvement* dynamique croissant ou décroissant.

⁷⁴ EPSTEIN, David, *Shaping Time: Music, the Brain, and Performance*, New York, 1995, p. 99.

⁷⁵ Du grec *dunamis*, force.

⁷⁶ ARNOLD, Denis (dir.), *Dictionnaire encyclopédique de la musique*, tome I et II, Université d'Oxford, Paris, Robert Laffont, 1988, p. 663.

Accentuation

Elle est parfois considérée comme un phénomène lié à la dynamique. Ainsi, E. Willems l'intègre aux éléments dynamiques qu'il classe en trois catégories, intensité générale (douce, moyenne, forte, etc.), nuances dynamiques (*crescendo*, *decrescendo*, etc.) et accents divers (métriques, rythmiques, etc.). La définition de l'accentuation indique la difficulté à analyser ce phénomène car il s'exerce par différents procédés :

« Mise en relief d'une note ou d'un accord spécifique par une augmentation (ou plus rarement par une réduction) de la dynamique, une prolongation de la durée ou un léger silence (ou articulation) avant de jouer la note. Le procédé d'accentuation le plus courant consiste à augmenter la dynamique de la note à souligner ; on le transcrit à l'aide de l'un des signes suivants : > - *fz sfz*. Cependant, le signe (-) correspond parfois au deuxième type d'accents décrits ci-dessus (prolongation expressive d'une note, d'un accord, ou accent agogique). [...] L'accentuation peut servir à souligner des temps forts ou, au contraire, à surprendre l'auditeur en insistant sur certains temps faibles. Entre les mains de l'interprète, elle devient un moyen expressif très subtil que le compositeur ne peut transcrire au moyen de la notation traditionnelle. »⁷⁷

P. Sauvanet précise qu'un *mouvement* peut se produire par déplacement de l'accent, avec une syncope⁷⁸ de durée ou d'intensité, le *mouvement* du rythme affectant la structure existante tout en conservant la périodicité. Dans le premier cas, la syncope d'intensité ou de durée n'est pas l'accent mais son déplacement, voire sa suppression. Elle crée un effet de suspension ou de rupture apparente et provisoire de la trame métrique. Le *mouvement* est ici facteur d'évolution, de différenciation, pour des éléments qui se renouvellent. Dans le second cas, la syncope réalise le passage entre deux structures différentes, par juxtaposition de mètres différents. La structure de base n'est pas nécessairement répétée dans son intégralité ni son intégrité lorsque les syncopes viennent la tronquer.

- **Facteurs combinés**

L'analyse, par souci de clarté, vise à séparer les composantes. Cependant, la réalité du rythme est une synthèse. La complexité musicale est évidente dans les rapports du rythme avec les hauteurs :

« [...] si certains rythmes tiennent de leur origine saltatoire un caractère plus impérieux, cela ne signifie point qu'ils épuisent la réalité du rythme propre de l'œuvre : deux menuets bâtis sur ce même schème typique peuvent avoir des rythmes propres bien différents si leurs harmonies et leurs timbres diffèrent. »⁷⁹

⁷⁷ *Ibidem*, p. 3.

⁷⁸ Du grec *sunkopê* et *sunkoptein* "briser" in SAUVANET, Pierre, *op. cit.*, p. 209-210.

⁷⁹ DUFRENNE, Mikel, *Phénoménologie de l'expérience esthétique, 1. L'objet esthétique*, Paris, PUF, 1956/1992, p. 327.

La complexité du phénomène rythmique lui-même est liée au fait qu'il opère par combinaison de facteurs.

« De même, un événement est analysable en ses coordonnées d'espace et de temps, mais l'événement réel est leur ensemble. [...] Il y a toujours de tout, mais dès qu'on veut sortir du vague, il faut distinguer les facteurs de rythme ; pour rester cependant dans le réel, il faut se souvenir qu'ils ne sont que des composantes, agissant toutes ensemble. »⁸⁰

La distribution de l'énergie dans le rythme découle de l'organisation des durées et du concours d'autres paramètres contribuant au rythme (hauteur, intensité, registre, masse, timbre, attaque). La cinétique produite par le jeu des brèves et des longues est affermie ou contrariée par l'énergétique des accents de hauteur et d'intensité.

« On oppose ici la force *cinétique* (instabilité/stabilité) qui pousse vers l'avenir et culmine dans l'accent tonique et la force *énergétique* (tension/détente) qui culmine dans les accents de hauteur et d'intensité. La frontière est tantôt nette, tantôt floue. Un double *forte* est une tension et n'est qu'une tension. Une dissonance harmonique (un retard par exemple) est à la fois une tension et une instabilité. »⁸¹

Les composantes de l'énergie sont tout paramètre sonore, tout jeu d'écriture, toute particularité formelle interférant sensiblement avec l'évolution rythmique d'un mouvement⁸² d'une pièce musicale. Ces diverses composantes peuvent agir simultanément de manière convergente, favorisant la tension ou la détente, ou de manière divergente, les unes favorisant la tension, les autres, la détente, chacune pouvant exercer tour à tour une influence discrète, nulle ou prépondérante. Il en résulte une infinité de nuances possibles de la vie rythmique.

Aux concepts de *mouvement* et d'ordre nécessaires à la notion du rythme, E. Willems ajoute celui de relativité, indispensable à l'art. Ainsi, le rythme est une relativité entre le *mouvement* et l'ordre, ayant différents caractères de proportion, de périodicité, de répétition. À l'une des extrémités, cette relation devient mesure rigide, mécanique ; à l'autre, elle rejoint la vie dans le rythme libre. Cette conception synthétique du rythme dépasse la métrique et la rythmique et englobe la durée, l'intensité et la plastique :

« Par les proportions des valeurs sonores, le rythme est temporel, par l'intensité, il rejoint l'espace et par la plastique il devient matériel, enrichissant ainsi, au cours des siècles, l'art de la musique. »⁸³

L'organisation des durées, de l'intensité et des accents sont les éléments constitutifs de la forme élémentaire du *mouvement*, *arsis-thesis*. Selon E. Willems, un autre type d'éléments entre en relation avec l'agogique et la dynamique. Ces éléments « plastiques » sont difficiles à

⁸⁰ SERVIEN, Pius, *Les rythmes comme introduction physique à l'esthétique*, Paris, Boivin, 1930, p. 86.

⁸¹ ACCAOUI, Christian, *op. cit.*, nbp, p. 140.

⁸² Au sens de partie de la pièce musicale.

⁸³ WILLEMS, Edgar, *op. cit.*, p. 89.

déterminer dans leur expression formelle. Ils dévoilent leur nature en pensant à la plasticité des corps et à leurs attributs matériels – poids, volume, densité, élasticité, etc. Les accents musicaux de durée, d'intensité, de hauteur ou de timbre et l'articulation peuvent enrichir la nature du rythme sonore d'une valeur plastique. Les relations subtiles entre ces éléments permettent au musicien de traduire des impressions plastiques, par exemple une succession de valeurs sonores allant *decrescendo* et *accelerando* peut évoquer une balle qui rebondit et une matière plus ou moins dure, légère, élastique, du corps rebondissant.

L'analyse du *mouvement* du rythme selon la forme et les facteurs de mobilité aboutit à l'émergence d'une forme élémentaire du mouvement rythmique, *arsis-thesis*, et à la détermination de trois paramètres séparés ou combinés, intensité et organisation de l'intensité, durées et organisation des durées et accentuation. La complexité du phénomène est liée à la combinaison de facteurs de mobilité. Le processus de mobilité du rythme fait appel à un principe de variation des paramètres (*crescendo/decrescendo* ou *accelerando/rallentando*) qui vient compléter le principe d'opposition, générateur de rythme selon S. Arom.

1.1.4 Représentations musicographiques du *mouvement* du rythme

On s'intéresse ici aux différentes techniques de représentations du *mouvement* propre au rythme, telles que les ont envisagées les théoriciens de la musique. Auparavant, il semble utile de préciser les limites inhérentes à toute représentation du rythme musical, phénomène complexe et invisible.

1.1.4.1 Limites de la notation-transcription du rythme

Le langage et la partition sont des médiateurs symboliques. Généralement,

« La notation manuelle est un produit de l'esprit humain qui tente de synthétiser l'information entendue et d'offrir une description intelligible du tout, dans un mode symbolique. »⁸⁴

Cependant, la notation présente des limites :

« Tout système de notation et toute forme de projection, de par leur nature même, ne reproduisent qu'imparfaitement ce qu'on pourrait appeler leur original. »⁸⁵

De la même façon, la notation musicale n'est qu'une représentation approximative du son ; elle est forcément incomplète et réductrice⁸⁶. La partition décrit statiquement l'évolution

⁸⁴ George List, 1974, p. 371 in AROM, Simha, *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d'Afrique centrale*, p. 252.

⁸⁵ HALL, Edward T., *La danse de la vie*, Paris, Seuil, 1984, p. 163.

d'une information dans le temps mais n'en fixe pas tous les aspects. Intensité, tempo, phrasé, timbre, etc. n'y sont indiqués que partiellement, laissant place à l'interprétation du musicien.

En ethnomusicologie, la transcription de la musique part d'un texte sonore, obtenu en général par enregistrement, pour le transférer sur papier sous forme de réduction-traduction visuelle. Elle est un instrument fondamental pour transmettre des idées à son sujet sachant que

« La transcription, en tant que réduction visuelle à deux dimensions de l'événement sonore contient toujours moins d'informations que le phénomène lui-même et ne peut donc mettre en évidence les aspects qui ne sont pas pleinement exprimés. »⁸⁷

La complexité d'un document musical, même simple en apparence, pose des problèmes de notation car

« Presque toujours l'analyse bute sur des difficultés tenant au caractère combinatoire des divers éléments, qui, une fois dissociés, peuvent perdre leur sens et jusqu'à leur identité. »⁸⁸

Il y aurait une impossibilité de décrire symboliquement certains phénomènes sonores, notamment celui du *mouvement*. Les résistances de la musique à se laisser enfermer dans une écriture tiennent à son essence dynamique et gestuelle :

« C'est en effet ce que semble suggérer une réflexion sur l'histoire de la notation musicale en Occident depuis les origines jusqu'aux problèmes posés par l'établissement des partitions d'œuvres contemporaines. L'important est de souligner, sans pouvoir entrer dans le détail d'un ensemble fort complexe et encore passablement lacunaire, que tout se passe comme si le geste échappait par principe à l'écrit, même s'il s'y inscrit partiellement. »⁸⁹

La musique, par sa nature, garde toujours quelque chose qu'on ne peut traduire en catégories visuelles. Il s'agit de décrire l'objet selon un point de vue, sans prétention à la totalité du phénomène sonore, irréductible et non équivalent au phénomène graphique. Concernant le rythme, selon J. Frigyesi, toute transcription paraît inapte à en saisir l'essence, le style de l'interprétation :

« En général, notre notation rythmique conventionnelle ne donne aucune indication sur l'aspect le plus important du style rythmique : le degré de précision de l'accent, le rubato, l'exactitude de la durée etc. Bien qu'à l'évidence on doive transmettre la différence entre l'expression du rubato et de la métrique à travers les caractéristiques objectives du son, ceux-ci se produisent à un niveau tellement subtil qu'on ne peut les mesurer de façon objective et les transcrire sans obstruer l'image visuelle censée communiquer le schéma rythmique global. »⁹⁰

⁸⁶ RENARD, Claire, *Le temps de l'espace*, Paris, Van de Velde, 1991.

⁸⁷ SCALDAFERRI, Nicola, « Pourquoi écrire les musiques non écrites ? Esquisse d'une anthropologie de l'écriture de la musique », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle* : vol. 5, L'unité de la musique, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2008, p. 660.

⁸⁸ AROM, Simra, « Essai d'une notation de monodies à des fins d'analyse », 1969, p. 172, in MOLINO, Jean, *op. cit.*, p. 216-217.

⁸⁹ COURT, Raymond, « Musique et mouvement », *Analyse musicale*, 8, 3^e trim. 1987, p. 12.

⁹⁰ FRIGYESI, Judit, « De la métrique et du « rythme libre » », *Cahiers de musiques traditionnelles, Noter la musique*, n° 12, Genève, Ateliers d'ethnomusicologie, 1999, p. 68.

La difficulté réside à la fois dans la problématique inhérente au rythme lui-même et dans la tension qui existe entre expérience aurale et représentation écrite. En l'occurrence, la notation des valeurs réelles de la durée n'indique en elle-même ni le *rubato* ni aucune autre expression métrique. Selon P. Sauvanet, le sous-concept de *mouvement* du rythme est *non-scriptible*, relevant de l'improvisation et d'un rapport direct à l'instrument :

« On notifie la formule rythmique, non son exécution. Aussi l'écriture n'est-elle pas le rythme, qui reste toujours exclusivement phénomène rythmique. »⁹¹

Effectivement, les performances et la perception du rythme musical sont beaucoup plus complexes que ne semble montrer la notation musicale. Entre la production sonore et les traces qui résultent de l'écoute de l'auditeur, l'écart est irréductible. Pour autant, dans sa transcription l'auditeur détermine les traits musicaux qui lui semblent pertinents :

« Puisque l'on ne peut ignorer les limites inhérentes à toute réduction graphique, précisons d'emblée que transcrire un événement musical, ce n'est pas le 'photographier' ; c'est bien plutôt dégager ses traits pertinents, mettre à nu les éléments qui le caractérisent et permettent son identification. »⁹²

On suppose donc que le *mouvement* est un des traits pertinents du rythme qui pourra être partiellement transcrit par l'auditeur.

1.1.4.2 « Représentation » du mouvement rythmique

La traduction du mouvement en représentation symbolique est très complexe. En danse, par exemple, l'on recourt fréquemment au langage verbal, avec des consignes imagées de nature analogique, métaphorique. Certes, la cinétographie vise l'établissement de signes et de conventions d'écriture du mouvement chorégraphique. Des systèmes notationnels créés au cours du XX^e siècle par R. Laban⁹³, R. Benesh⁹⁴ et P. Conté⁹⁵ permettent de décrire, d'analyser, de mémoriser et de préserver les mouvements de la danse mais leurs grammaires n'apportent pas de solution originale pour mettre en évidence la dynamique du rythme : l'évolution temporelle du mouvement s'appuie sur la notation musicale conventionnelle.

⁹¹ SAUVANET, Pierre, *Le rythme et la raison*, II *Rhythmanalyses*, Paris, Kimé, 2000, p. 43.

⁹² AROM, Simha, *op. cit.*, p. 254.

⁹³ R. Laban (1879-1958). La labanotation est utilisée dans le monde entier et dans des domaines très divers : conservation et transcription de danses scéniques (partitions de ballets), de mimes, de danses ethniques et folkloriques, de pratiques somatiques (yoga, Feldenkrais, Bartenieff, etc.). CHALLET-HAAS, Jacqueline, *Grammaire de la notation Laban, Cinétographie Laban*, Vol. 1 et 2, 1999, Paris, CND.

⁹⁴ R. Benesh (1916-1975). MIRZABEKIANTZ, Eliane, *Grammaire de la notation Benesh*, Paris, CND, 2000.

⁹⁵ P. Conté (1891-1971) a tenté d'établir une correspondance entre valeurs musicales et signes cinétophiques. Il détermine quatre facteurs pour la musique (le son, le temps, la nuance et l'accentuation), puis détermine les facteurs de l'action physique (l'espace, le temps, la nuance et l'accentuation). Il s'appuie sur la notation musicale, supposant que si un lien tangible existe entre la production du geste et celle du son, l'écriture du mouvement devrait pouvoir utiliser ce que la musique a déjà découvert et expérimenté.

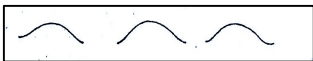
Dans l'histoire de la notation musicale en Occident, on trouve peu de tentatives de représentation visuelle des critères dynamiques d'un objet sonore. Cependant, vers le IX^e siècle, les premières formes de notation de plain-chant s'en approchent. Elles s'appuient sur des signes appelés « neumes » qui signifient en latin 'geste, signe, mouvement de la main', et en grec, 'signe de la tête ou de la main'. Dans un sens musical,


« Les neumes ne spécifient donc ni la hauteur des sons (notes ou intervalles déterminés), ni leur durée, mais le mouvement même de la voix dans ses figures essentielles, bref l'arabesque sonore en sa trajectoire spatio-temporelle. C'est pourquoi, imprécis et imparfaits quant à la représentation des hauteurs et des intervalles, en revanche surtout si on les prend sous la forme achevée où nous les retrouvons dans les manuscrits des IX et X^e siècles, ils traduisent à la perfection 'les plus impalpables nuances du rythme' avec 'les moindres ralentis' et 'les plus légers appuis'. »⁹⁶

Selon A. Mocquereau, les expressions *mouvement*, *élan* et *repos* sont métaphoriques en musique. Elles ne peuvent être directement exprimées du fait de leur nature impalpable et invisible. Il propose toutefois de recourir à des symboles, à l'image, sachant que

« La confusion entre le mouvement rythmique lui-même, objectif ou subjectif, d'une part, et, de l'autre, les procédés que nous inventons pour l'exprimer ou le figurer doit être soigneusement évitée. »⁹⁷

Considérant que le *mouvement* sonore est lié au mouvement de la main sous deux formes, le geste chironomique et le geste graphique, il en propose une représentation par la chironomie⁹⁸, qui est l'expression plastique de l'analyse du rythme. A l'origine, cette indication gestuelle de la main précise au chanteur le *mouvement* du son dans l'espace et dans le temps. Ces gestes doivent traduire des tracés de dessins linéaires de la notation musicale. La forme graphique⁹⁹ la plus simple et naturelle pour figurer l'élévation et l'abaissement

mélodique et rythmique est une simple ligne ondulante : . Par conséquent, le geste chironomique fondamental est l'ondulation. La main suit le tracé graphique de la courbe : elle est levée vivement sur la brève puis abaissée sur la longue. Une légère courbe, *arsis recourbée*, est ajoutée au début de l'ondulation pour figurer le départ de

la main qui passe du repos à l'action, à l'élan . Ce signe rythmique, à l'instar de la

⁹⁶ CHAILLEY, Jacques, *Histoire musicale du Moyen âge*, PUF, 1984, p. 78.

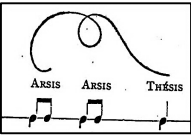
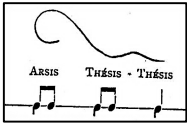
⁹⁷ MOCQUEREAU, André, *op. cit.*, p. 48.

⁹⁸ « - ANTIQ. GRÉCO-LAT. Art de régler les gestes des mains, et plus généralement les mouvements du corps, dans la comédie et dans la chorégraphie ; cet art est conservé dans certaines danses orientales.

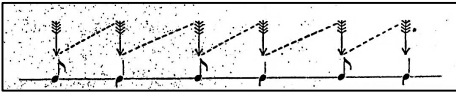
- MUS., rare. Art de battre la mesure, particulièrement dans la direction du chant religieux. *Nous entendons pour la première fois parler d'une direction au moyen de mouvements de la main par Quintilien, sous la dénomination de « cheironomie ». La cheironomie fut adoptée ensuite par l'église chrétienne et devint la forme de direction employée pour l'exécution du chant grégorien (Arts et litt. dans la société contemporaine, t. 2, 1936, p. 6010) », Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, CNRS atilf.*

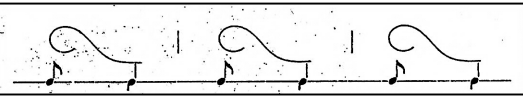
⁹⁹ MOCQUEREAU, André, *Le nombre musical grégorien ou rythmique grégorienne*, Tome 2, Paris, Desclée et Cie, 1927, p. 685.

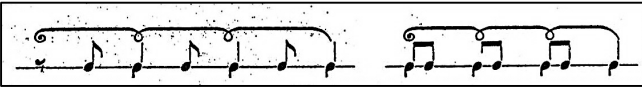
liaison, indique l'union intime qui doit exister entre l'élan et le repos de chaque rythme. Arsis et thésis composées se distinguent graphiquement par une boucle indiquant la répétition de

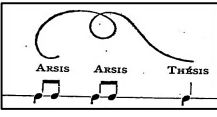
l'arsis  et une ligne ondulante descendante  pour la répétition de la thésis.

Des principes d'une chironomie grégorienne guident le tracé des gestes manuels directeurs. La chironomie a précisément pour but de reproduire par les lignes et les gestes la marche rythmique et mélodique de la phrase grégorienne et ses nuances dynamiques. Elle doit figurer tous les ordres qui entrent dans la composition musicale, d'où la complexité de l'analyse et la nécessité pour le chef de chœur d'opérer des choix. On distingue des chironomies rythmiques¹⁰⁰ :

- individuelle : 

- élémentaire : 

- par temps composés : 

- par membres de phrase : 

- phraséologique :

CHIRONOMIE GRÉGORIENNE



1^{er} Membre. 2^e Membre. 3^e Membre. 4^e Membre.

Can-ta-te Do-mi-no , can-ti-cum no-vum, laus e-jus, ab ex-ter-mis-ter-ra,

Analyse par membres de phrase

Le 1^{er} Membre - se compose de: Deux arsis, une thésis

Le 2^e Membre - se compose de: Une arsis, deux thésis

Le 3^e Membre - se compose de: Une arsis, deux thésis

Le 4^e Membre - se compose de: Une arsis, trois thésis

Le courant dynamique de toute la phrase est indiqué par le crescendo et le decrescendo. L'accent général au sommet de la phrase est marqué par l'accent sur le mot "canticum."

¹⁰⁰ MOCQUEREAU, André, *Le nombre musical grégorien ou rythmique grégorienne*, Tome 1, p. 105.

Dans la notation musicale conventionnelle, divers marqueurs dynamiques sont des moyens d'expression¹⁰¹ dont l'interprète peut faire usage pour traduire un flux rythmique. Les caractéristiques temporelles peuvent être déduites à différents niveaux. On trouve à un bas niveau, les durées des notes et des intervalles entre les notes, à un plus haut niveau, des phénomènes temporels plus complexes, de caractère structural, comme les accélérations et décélérations et tous types de patterns temporels avec alternances de segments longs et courts dans toutes les combinaisons possibles. Les durées relatives des notes sont données dans la partition, des nuances mineures étant apportées par les barres de mesures, par le phrasé et l'articulation avec les liaisons et par les symboles indiquant les accents. Les indications de tempo sont variées, avec des désignations métronomiques liant une unité de durée particulière avec une durée particulière (par exemple ♩ = 80 bpm), des descriptions de vitesse et de caractère gestuel – *andante*, *allegro*, *etc.*, ou des associations entre notations métriques et tempo (par exemple, 3/4 associé à un tempo modéré et 3/8 à un tempo relativement rapide). L'intensité est notée par des symboles (*p*, *f*, *etc*) et des indications d'évolution temporelle (*diminuendo*, *crescendo*, *etc.*). L'interprète choisit l'intensité exacte de la note et les intensités relatives. Il ajuste constamment ces paramètres et peut introduire ces variations dynamiques sans indication dans la partition. Enfin, les indications de timbre sont notées sur la partition pour l'orgue ; pour les cordes frottées ou pincées, on indique la position, la manière et l'endroit où la note doit être produite.

Récemment, la formalisation visuelle des sons a évolué afin de

« [...] prendre en compte l'évolution temporelle du son, la façon dont l'attaque ou l'entretien par l'instrumentiste modèle ce son – ce que Pierre Schaeffer a appelé la forme imprimée à la matière sonore. Aussi a-t-il fallu développer des représentations figurant l'évolution du spectre dans le temps, et comportant donc trois dimensions : fréquence, amplitude et temps. »¹⁰²

Toutefois, J. M. Chouvel souligne la difficulté dans la représentation du temps

« de désigner du temps par les moyens du temps. »¹⁰³

Il indique deux types de représentations du mouvement en physique, l'espace des phases et la représentation spatio-temporelle :

¹⁰¹ Selon les types d'instruments utilisés et selon des conventions non écrites, spécifiques de chaque période, POVEL, Dirk-Jan, « Temporal Structure of Performed Music. Some Preliminary Observations », *Acta Psychologica*, 41, 1977, p. 309-320.

¹⁰² RISSET, Jean-Claude, *La recherche*, n° 305, 1998, p. 100.

¹⁰³ CHOUVEL, Jean-Marc, « Problèmes de topologie musicale : entre structure et cognition », *L'espace : Musique/Philosophie*, éd. Jean-Marc Chouvel et Makis Solomos, Paris, L'Harmattan, 1998, p. 118.

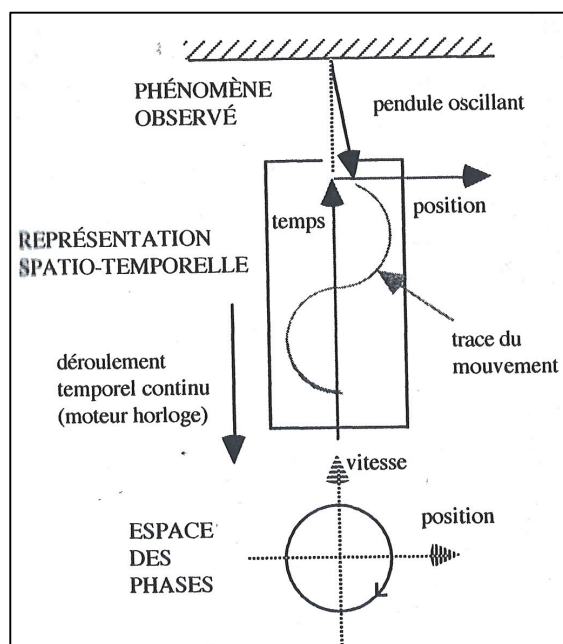


Figure 2: Types de représentation du mouvement en physique¹⁰⁴

L'espace des phases fait correspondre chaque point de cet espace à un état dynamique possible du système. Cet outil semble plus particulièrement adapté à l'analyse mélodique :

« Le diagramme de phase est un excellent outil d'analyse des comportements temporels subtils, notamment pour l'étude des spécificités stylistiques de certaines musiques vocales. »¹⁰⁵

L'autre représentation du mouvement présente l'évolution de la position en fonction du temps ; elle laisse en quelque sorte la *trace* du mouvement. Tout ce qui va présenter l'évolution des paramètres musicaux en fonction du temps relève de la trace.

« La représentation de la temporalité s'effectue, pour la musique, depuis l'invention de la partition jusqu'à celle du sonagramme, sous la forme d'une trace qui reporte directement le temps sur un espace affine. »¹⁰⁶

Ainsi, le sonagramme est un graphique du son qui présente l'évolution du spectre sonore dans le temps. Il n'est cependant pas le reflet fidèle de la perception auditive car non seulement l'oreille ne peut discerner certaines formes visuellement distinctes mais, à l'inverse, le sonagramme peut proposer une image confuse et illisible d'un son orchestral complexe dans lequel l'oreille peut, elle, discerner clairement les parties.

Les limites de la représentation des aspects dynamiques du rythme sont principalement liées aux techniques qui n'enregistrent que partiellement les données dynamiques sonores et

¹⁰⁴ *Idem*, *Analyse musicale. Sémiologie et cognition des formes temporelles*, Paris, L'Harmattan, 2006, p. 139.

¹⁰⁵ *Ibid.*, p. 141.

¹⁰⁶ *Ibidem*, p. 137.

rendent l'objet dans des représentations statiques. L'analyse et la représentation d'un flux sonore semblent donc nécessiter la recherche d'un outil adapté à l'enregistrement et à la conservation des données liées à la dynamique du son. L'évolution des outils informatiques permet de progresser dans ce domaine, ce dont il sera question dans la revue consacrée aux moyens de captation du *mouvement* sonore par les mouvements produits par l'auditeur ainsi que dans la partie expérimentale de la thèse.

1.2 Le *mouvement* du rythme selon le rythme comme phénomène-expérience

Le premier versant de la définition du rythme de P. Sauvanet est phénoménologique :

« On conviendra d'appeler rythme : *tout phénomène perçu, subi ou agi, auquel un sujet peut attribuer au moins deux des critères suivants : structure, périodicité, mouvement.* »¹⁰⁷

Le couple perceptif *subi/agi* détermine la présence d'un sujet par rapport à un phénomène et implique la notion d'*expérience*.

« Le rythme n'est tel que s'il donne lieu à un débordement de sa seule valeur formelle par un sujet rythmé ou rythmant, dans sa matérialité et sa corporéité propres. En un mot, il n'y a pas de rythme sans *expérience* rythmique. »¹⁰⁸

A. Mocquereau considère¹⁰⁹ que la construction du rythme est une opération synthétique qui lui confère une unité entre les sons, éléments objectifs, et nos facultés rythmiques, éléments subjectifs. Si la durée et l'intensité suffisent à la formation du rythme, ils ne serviraient à rien sans les facultés physiques, intellectuelles, esthétiques qui nous font percevoir, juger et apprécier le rythme. Selon O. Messiaen,

« Pour le *Rythme*, le son – musical ou pas – n'est bien souvent que son coloriage : il reste le truchement entre les Durées, le Nombre, et notre perception. »¹¹⁰

Le sujet percevant est donc d'une importance première dans la considération du rythme et de son *mouvement*. Différentes sources possiblement reliées peuvent contribuer à la perception du rythme comme *mouvement*, selon que le rythme est subi ou agi par l'auditeur.

¹⁰⁷ SAUVANET, Pierre, *op. cit.*, p. 195.

¹⁰⁸ *Ibidem*, p. 196.

¹⁰⁹ MOCQUEREAU, André, *op. cit.*

¹¹⁰ MESSIAEN, Olivier, *op. cit.*, p. 40.

1.2.1 Le *mouvement* du rythme selon le rythme comme phénomène perçu-subî

Y a-t-il une réelle expérience perceptive de *mouvement* lors de l'écoute musicale ou est-ce une expérience métaphorique due à des associations avec des mouvements physiques ou humains ? Dans le cas où le rythme est considéré comme un phénomène subi, la perception de *mouvement* musical semble liée à la formation d'une idée métaphorique chez l'auditeur qui émane soit de la spatialisation du son, soit d'une métaphore liée à la construction de la forme sonore, ou encore d'une métaphore de mouvement.

1.2.1.1 La perception du mouvement sonore, une expérience de spatialisation du son

Le recours à l'espace paraît être une nécessité conceptuelle pour envisager un *mouvement* du son. En effet, comme le souligne M. Villela-Petit,

« [...] comment concevoir un mouvement – celui d'une séquence de sons organisée selon certains rapports – et donc un mouvement sonore se donnant à une saisie auditive, qui pourrait, dans sa phénoménalité même, se passer de toute dimension spatiale ou spatialisante ? »¹¹¹

Néanmoins, on reconnaît un écart de paradigme entre le *mouvement* dans l'espace sonore et le mouvement physique dans l'espace-temps, le premier étant décrit comme idéal, virtuel, métaphorique. Ainsi, R. Scruton soutient l'idée qu'un *mouvement* existe dans la musique comme métaphorique¹¹² parce qu'un mouvement physique réel ne se produit que lorsque des *objets physiques* se déplacent dans l'espace. Or, en musique, à l'exclusion des cas de réelle spatialisation du son, rien ne va d'une place à une autre. Les notes ne se déplacent pas : ce sont des événements séparés, non des objets et le *mouvement* qu'ils semblent avoir ne peut être que dans les connexions perçues entre ces événements. Ces connexions amènent l'auditeur à faire l'expérience de la musique en termes de mouvement métaphorique dans un espace virtuel. E. Clarke précise que si les sons dans le monde quotidien indiquent les caractéristiques de mouvement de leurs sources, alors les sons de la musique peuvent indiquer les mouvements fictifs et les gestes de l'environnement virtuel qu'ils évoquent¹¹³. Ceci implique que l'auditeur associe des changements de paramètres musicaux spécifiques à des changements qui correspondent à des dimensions spécifiques du mouvement.

¹¹¹ VILLELA-PETIT, Maria, « La phénoménalité spatio-temporelle de la musique », *L'espace : Musique/Philosophie*, éd. Jean-Marc Chauvel et Makis Solomos, Paris, L'Harmattan, 1998, p. 32.

¹¹² SCRUTON, Roger, *The Aesthetics of Music*, p. 49-52, 1997, in EITAN, Zohar, GRANOT, Roni Y., « How Music Moves : Musical Parameters and Listeners' Images of Motion », *Music Perception*, Vol. 23, 2006, p. 234.

¹¹³ CLARKE, Eric F., « Meaning and the specification of motion in music », *Musicae scientiae*, 5, 2001, p. 213-234.

La conception du *mouvement* du rythme comme une métaphore spatiale repose sur l'hypothèse théorique que la culture auditive de l'espace est la référence du *mouvement* dans le son musical. Dans ce cas, le *mouvement* est perçu dans une expérience de spatialisation du son. Ces métaphores spatiales se forment dans l'esprit de l'auditeur par une illusion d'acoustique, par une expérience synthésique ou encore suivant son imagination motrice.

- **Illusion d'acoustique**

« Le véritable mouvement des sons, ce n'est pas leur mouvement apparent dans l'espace, c'est leurs mouvements dans la sonorité même, c'est le rythme sonore et la mélodie. »¹¹⁴

Selon P. Souriau, la perception du *mouvement* des objets sonores peut être due à l'association de sensations auditives avec les perceptions visuelles. En effet, à tout mouvement d'objets visibles correspond un changement dans leur sonorité. Dès l'origine, nous sommes habitués à cette correspondance : dès qu'un enfant commence à percevoir les bruits, il s'habitue à les localiser dans les objets tangibles et visibles dont il s'aperçoit qu'ils émanent. La sonorité lui paraît une qualité de ces corps : en même temps qu'il les frappe ou qu'il les voit s'agiter, il en perçoit simultanément le bruit. L'ouïe est utile pour juger de la position des objets sonores et, comme toutes les perceptions acquises, à force d'habitude la localisation des sensations prend le caractère d'une perception immédiate. Un bruit entendu est immédiatement localisé par une irrésistible association d'idées, par une activité réflexe de l'esprit. Il en résulte certaines illusions d'acoustique. Ainsi, les variations d'intensité et de timbre des sons produisent l'effet d'un mouvement dans l'espace. Cette tendance est surtout manifeste quand il s'agit des changements continus de sonorité qui correspondent au mouvement des objets : un son faible ne paraîtra pas toujours lointain mais si le bruit s'affaiblit, on ne pourra s'empêcher de se figurer qu'il s'éloigne.

- **Expérience synthésique**

Traitant de la phénoménologie de l'ouïe spatialisante, H. Parret retient¹¹⁵ deux idées générales de M. Merleau-Ponty¹¹⁶. D'une part, l'expérience perceptive est enracinée dans la corporéité du spectateur, de l'auditeur. La spatialité du corps propre organise l'espace, le monde naturel et même la relation intersubjective. D'autre part, le sentir est avant tout synthétique *et* synesthésique, autrement dit *synthésique*¹¹⁷, et la spécificité de l'objet perçu

¹¹⁴ SOURIAU, Paul, *op. cit.*, p. 309.

¹¹⁵ PARRET, Herman, « A propos d'une inversion : l'espace musical et le temps pictural », *Analyse musicale*, 4, 3^e trim. 1986, p. 25-31.

¹¹⁶ Ce, bien que la grande tradition de la phénoménologie de la perception privilégie la vision.

¹¹⁷ Néologisme produit par la contraction des deux termes.

provoque tout au plus une mise en relief des sens synesthésiquement combinés. Si l'objet perçu est musical, l'ouïe sera privilégiée parmi les sens, sans qu'ils soient totalement neutralisés.

« On 'comprend' la musique parce que notre expérience n'est pas uniquement auditive : si l'on utilise des qualifications spatiales pour décrire une expérience musicale, comme *clair, sombre, arrondi, pointu, bas, haut*, c'est bien que cette expérience est synesthésique et implique la vision et éventuellement d'autres sens comme le toucher et même le goût. »¹¹⁸

L'expérience de l'œuvre musicale ne doit pas être privée de toute synesthésie. En ce qui concerne la perception de la *qualité du son*, il semble qu'elle soit modulée par notre « attitude », prédicative et inconsciente, elle-même fondée dans notre corporéité qui « perçoit » le son synesthésiquement.

« Dire que l'on 'perçoit' l'espace en écoutant une œuvre musicale, c'est dire que nous entendons des registres, des durées, des qualités de son, des intensités, que nous percevons 'un objet en mouvement', un objet qui se présente comme un 'feuilleté' ou une superposition de couches. La durée musicale est perçue prototypiquement comme une *ligne*, figure spatiale encore. Cette ligne a sa solidité propre : elle est continue, mais elle peut comporter des 'trous'. C'est une ligne qui monte, descend, grimpe et tombe ; elle se développe de manière fluide ou raboteuse, elle bifurque ou se stabilise, elle passe à travers d'autres lignes, se sépare ou se réunit avec d'autres lignes, surfaces et volumes. »¹¹⁹

La corporéité, source de toute expérience kinesthésique, nous fait percevoir de l'espace dans la durée musicale. Cet espace musical n'est pas géométrique : il n'est pas équivalent à un ensemble de distances entre objets physiques, ni une section d'un espace plus englobant. Il surgit avec l'œuvre musicale elle-même et ne la transcende pas. C'est pourquoi il est plutôt un espace vécu, un « domaine d'intérêt ».

- **Mouvement visible et imagination motrice**

A. Mocquereau¹²⁰ scinde les arts en deux groupes, les arts du repos, en relation avec l'espace – architecture, sculpture, peinture – et les arts du mouvement, en relation avec le temps – musique, poésie, danse – au sein desquels une relation particulière s'établit entre temps et mouvement. Le *temps* est la mesure du mouvement et de l'arrêt. Par lui-même, le temps ne peut se servir de mesure, ni produire sur nous aucune sensation. Seules les choses qui se passent, qui se *meuvent* en lui nous permettent de l'évaluer. Quant au *mouvement*, il est la condition qui, en divisant le temps, rend l'écoulement du temps appréciable à nos sens. La faculté de percevoir les *mouvements* qui divisent la somme des moments où se compose le temps est réservée à la vue et à l'ouïe. L'œil saisit ces instants par les mouvements des corps :

¹¹⁸ *Ibidem*, p. 28.

¹¹⁹ *Ibid.*

¹²⁰ MOCQUEREAU, André, *op. cit.*

c'est le mouvement local ou visible. L'oreille perçoit le son et la succession des sons par les vibrations de l'air : c'est le *mouvement* sonore, instrumental ou vocal. Le *mouvement* sonore et le mouvement visible, le rythme sonore et le rythme visible sont intimement liés et s'éclairent mutuellement, comme le concevait également sur un plan perceptif A. Le Guénnant :

« Nous percevons le mouvement sonore de la même manière que nous percevons le mouvement des corps. »¹²¹.

On trouve chez E. Willems l'idée que le mouvement corporel est la condition première non seulement pour la manifestation du rythme mais également pour la prise de conscience de la durée :

« [...] c'est là le terme commun qui unit en fait, dans l'acte et dans la conception, l'espace nécessaire au mouvement et le temps dans lequel il s'actualise. »¹²²

Seuls les mouvements et, par défaut, l'imagination motrice peuvent donner la sensation de l'écoulement du temps. L'auteur précise que le rythme serait plus pur s'il est transmis directement par l'imagination motrice que s'il passe d'abord par l'intellect qui se représente une suite de valeurs rythmiques notées.

« Dans la musique, l'imagination motrice prend souvent la place des mouvements réels, créant ainsi – comme dans la création ou dans la lecture des œuvres – un lien indissoluble entre la matière et l'esprit. Il y a intime association entre rythme sonore et imagination motrice. »¹²³

Dès que cette imagination motrice fait défaut, il n'y a plus de rythme vivant mais un ordre abstrait, mathématique.

1.2.1.2 Perception du rythme comme forme

L'étude de la perception rythmique est complexe car elle subit l'influence, entre autres, du dessin mélodique, de l'accentuation, du timbre, du tempo. Les travaux de P. Fraisse ont considérablement influencé l'investigation systématique du rythme par l'étude des effets dus à la variation des différents paramètres dans l'organisation perceptive de séries de sons et la formation des groupements perceptifs. Le psychologue a cherché à saisir les propriétés des structures temporelles en isolant l'élément rythmique des autres composantes possibles¹²⁴. Il a contribué à trouver les éléments déterminants dans leur perception et leur reproduction ainsi qu'à définir les structures rythmiques, la manière dont elles sont différenciées temporellement

¹²¹ A. Le Guénnant, *La musique des origines à nos jours*, in WILLEMS, Edgar, *op. cit.*, p. 88.

¹²² WILLEMS, Edgar, *op. cit.*, p. 8.

¹²³ *Ibid.*, p. 72.

¹²⁴ Pour ce faire, il a utilisé des sons neutres (bruits frappés, claquements de mains, clics).

(durée des sons et intervalles), quantitativement (intensité) ou qualitativement (hauteur), leurs limites temporelles en relation avec la vitesse de succession des éléments et leur nombre.

Ses travaux sur le rythme s'appuient sur des lois établies au XX^e siècle par le courant de la *Gestalt* qui permettent d'expliquer l'émergence et l'organisation de la forme dans le domaine de la perception visuelle¹²⁵.

« Ces lois formalisent une tendance spontanée et inconsciente des mécanismes psychologiques humains qui consistent à obéir à des principes de simplicité et à délimiter des unités dans le champ perceptif [...]. »¹²⁶

Ces lois de structuration de la perception sont générées par les qualités et les dispositions que dégagent les éléments d'une configuration globale, qualités qui déterminent des segmentations et l'organisation de groupements de structures¹²⁷. Elles demeurent une des bases les plus solides pour l'explicitation théorique et empirique des phénomènes acoustiques et musicaux¹²⁸. Dès 1890, C. von Ehrenfels considère que

« Reconnaître une mélodie dans n'importe quelle tonalité résulte de sa forme globale, sa *Gestalt*, qui s'impose en tant que telle et ne peut résulter de sa mise en association par la conscience de ses divers composants. »¹²⁹

M. Wertheimer a montré que les lois de proximité et de similarité imposent des groupements dans l'espace. De même dans le temps, des facteurs analogues déterminent une structuration du devenir. P. Fraisse part de la rythmisation subjective¹³⁰ et montre que la perception d'une forme rythmique est une modalité perceptive. Le groupement n'est pas une donnée physique, il est relatif à un sujet percevant et entraîne des modifications phénoménales des données physiques. C'est une caractéristique fondamentale de notre perception avec ses lois et ses limites. Des différences d'ordre acoustique et/ou temporel perçues au niveau de la surface musicale sont décisives.

« Un principe primordial, tant pour l'écoute que l'analyse, sera de saisir les coupures, autrement dit de situer les segmentations du discours. [...] Segmenter, ce n'est pas seulement

¹²⁵ Dans les années 1920, le gestaltisme, courant psychologique du cognitivisme structural, postule que le monde que nous percevons est une reconstruction de l'esprit. Selon cette théorie, le tout, reçu globalement, ne peut être assimilé à la somme des parties. Les psychologues de la *Gestalt* ont établi et articulé les lois d'organisation perceptive – de bonne forme, de proximité, de similitude, de bonne continuité, de destin commun, de clôture – à partir d'une réflexion en matière de perception visuelle.

¹²⁶ DELIEGE, Irène, « La perception de la musique », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, éd. Jean-Jacques Nattiez, vol. 2, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 366.

¹²⁷ Proximité : ■■■■ ■■■■ Similarité : ■■■◆◆◆◆◆, *ibid.*, p. 367.

¹²⁸ De nombreux travaux sur la perception de la musique et l'organisation de l'écoute ont été marqués par la théorie psychologique de la *Gestalt* ; parmi les plus significatifs *Les structures rythmiques* et *La psychologie du rythme* de P. Fraisse (1956, 1974), *Emotion and Meaning in Music* de L. B. Meyer (1956), et *A Generative Theory of Tonal Music* de F. Lerdahl et R. Jackendoff (1983).

¹²⁹ EHRENFELS, Christian von, 1890 ; 1988, p. 84-85, in DELIEGE, Irène, *op. cit.*, p. 366.

¹³⁰ Lors de l'écoute de sons identiques se suivant à intervalles réguliers, ces sons semblent être groupés par 2 ou 3. Or, rien ne suggère objectivement ce groupement.

établir des coupures, c'est, par la même opération, définir les groupements dans le flux musical. »¹³¹

A l'intérieur du groupe, les sons pourront être totalement identiques, ou plus ou moins similaires, mais il importe qu'une différence génère la frontière et détermine le point d'enclenchement du groupe suivant.

P. Fraisse compare l'organisation dynamique d'une suite temporelle à celle d'une suite spatiale. Il montre la tendance à l'assimilation quand deux intervalles ont une étendue proche et la tendance à la distinction quand le rapport dans le modèle atteint 1,5 à 1,6. Cette organisation apparaît comme liée à notre perception de stimuli indépendamment de leur nature. Le psychologue dégage la loi fondamentale de la structuration à partir de deux durées seulement, avec la double tendance à l'assimilation des durées du même ordre et à la nette distinction entre ces deux durées. Les différences entre des éléments voisins par la durée, la longueur, la forme, sont diminuées ou supprimées par assimilation et les différences notables sont exagérées. L'action simultanée de l'assimilation et de la distinction ramène le donné perceptif à des structures simplifiées, par assimilation, et nettes, par distinction.

Dans la genèse des formes rythmiques, le psychologue considère que deux composantes sont toujours présentes, une structure qui va de la collection dans le cas d'éléments identiques en durée, qualité et intensité, aux structures du rythme poétique ou musical, et une périodicité traduite par le retour de groupements identiques ou analogues.

- **Structuration**

Il peut y avoir structure rythmique à partir de différenciation temporelle des stimuli ou des intervalles entre les stimuli et de différenciations qualitatives (hauteur) ou quantitatives (intensité), ces modes pouvant être utilisés simultanément ou électivement.

- Structuration par différenciation temporelle :

- Différences entre temps courts et temps longs : la structure rythmique de base¹³² est fondée sur la double distinction qualitative et quantitative de deux types de temps, adjacents ou non, les temps courts et les temps longs¹³³, qui correspondent à des perceptions *qualitativement* différentes. Aux temps courts correspond une perception de *collection* et aux temps longs, celle de *durée*. La zone entre 40 et 100 cs¹³⁴ est celle où nous avons sans effort une perception

¹³¹ DELIEGE, Irène, « Perception et analyse de l'œuvre musicale : points de rencontre », *Analyse musicale*, 26, 1^{er} trim. 1992, p. 8.

¹³² *I.e.* qui n'est pas composée de plusieurs structures juxtaposées.

¹³³ Les temps courts, égaux ou presque entre eux, ont une durée moyenne de 18 à 29 cs environ, les temps longs, égaux ou presque entre eux, ont une durée de 44 à 90 cs environ, *in* FRAISSE, Paul, *Les structures rythmiques, étude psychologique*, Louvain, Erasme, 1956, p. 81.

¹³⁴ Centisecondes.

de durée. Au-delà de deux secondes, il n'y a plus de perception de la durée parce qu'il n'y a plus possibilité d'unir en un même acte perceptif les deux limites de l'intervalle.

- Il y a perception à partir du moment où le message sensoriel a été transmis aux centres mais il existe une sorte de période réfractaire pendant que se déroule le premier processus perceptif. Si le processus perceptif engendré par un premier stimulus n'est pas terminé quand se produit le second, on a perception d'une collection ; s'il est juste terminé, on a perception d'une durée. Le processus perceptif complet dure de 50 à 60 cs.

- Pauses entre les structures¹³⁵ : entre les groupes rythmiques qui se répètent d'une manière continue s'étend un intervalle qui est à la fois séparation et trait d'union. Sa durée est déterminée par la nécessité d'assurer la cohésion interne du groupe rythmique par une plus grande proximité relative et d'éviter toute équivocité sur la structure du groupe quand il se répète. Il a, en outre, un rôle dans l'assemblage des groupes successifs. Sa durée spontanée moyenne¹³⁶ est de l'ordre de celle de l'intervalle « d'indifférence », de 60 à 80 cs.

- Limites temporelles des groupements rythmiques¹³⁷ : ce problème se ramène à celui de la capacité de notre mémoire immédiate. Avec des sons se suivant à intervalles réguliers, la limite d'appréhension, en éliminant la numération, est de l'ordre de 5 à 6. Il n'y a mémoire de la structure que s'il y a saisie de tous les éléments. Cependant, dans la pratique des arts rythmiques, de nombreux groupements ont beaucoup plus d'éléments. Cette variation des limites s'explique par la tendance des groupes plus longs à se scinder en sous-groupes.

- Combinaison vitesse de succession et nombre d'éléments : le nombre d'éléments appréhendés dans un groupement uniforme diminue peu, quel que soit l'intervalle entre chacun, tant que cet intervalle reste dans les limites favorables au groupement. La durée des groupes de frappes les plus longs, telle que la perception de l'unité ne disparaisse pas, est de 4 à 5 secondes¹³⁸. En pratique, les groupements rythmiques auraient des durées allant de 1 à 3 secondes¹³⁹.

- Structuration par différenciation quantitative (intensité) :

Les groupes rythmiques prégnants où les seuls éléments de différenciation sont l'intensité des sons se caractérisent par le fait que les sons plus intenses sont moins nombreux

¹³⁵ *Ibidem*, p. 67-79.

¹³⁶ Sa durée est toujours au moins égale à celle du temps le plus long du groupe sans être dans un rapport défini avec ce temps. Il n'est pas, en moyenne, quantitativement distinct d'un temps long, mais la distinction entre eux est d'ordre phénoménal.

La durée de l'intervalle entre chaque groupe rythmique croît avec la complexité du groupe. Elle est de l'ordre de 60 à 72 cs respectivement pour des structures de 3 ou 4 frappes et de 120 à 130 cs pour des structures de 5 ou 6 frappes.

¹³⁷ *Ibid.*, p. 12-17.

¹³⁸ Selon C. H. Sears, la durée moyenne d'une mesure musicale est de 3,43 sec. et selon Wallin, la longueur moyenne des vers est de 2,69 sec., *in ibid.*, p. 17.

¹³⁹ Mac Dougall, *in ibid.*

que les sons faibles¹⁴⁰, et que leur agglomération est soit au début, soit à la fin de la structure¹⁴¹. Ce deuxième caractère correspond à la loi générale de simplicité des bonnes formes. Quand les sons intenses sont plus nombreux que les sons faibles, il se produit une inversion de structure¹⁴², i.e. ce sont les sons faibles qui sont accentués.

Deux effets sont à distinguer : l'effet d'accent, par surestimation de l'intervalle entre une frappe accentuée et une frappe non accentuée, et l'effet de pause, par surestimation des intervalles terminaux. Quand le groupe se termine sur une frappe accentuée, les deux effets s'ajoutent. En pratique, dans une suite de sons d'intensités différentes où objectivement les intervalles temporels n'interviennent pas, deux types de structuration sont possibles : l'une où le son le plus intense détermine le commencement du groupe rythmique, l'autre où le son le plus intense termine le groupe parce que la surestimation de l'intervalle qui le suit prend la valeur de pause. Des sujets peuvent être plus sensibles à l'accent lui-même ou à ses effets temporels. L'accent placé au début de la structure agit par lui-même ; placé à la fin, il agit principalement par l'intermédiaire de ses effets temporels.

- **Périodicité**

Le rythme naît avec les retours périodiques de structures simples ou complexes, *i.e.* avec un ordre présent dans la succession des structures. L'accentuation pourra s'effectuer par augmentation de l'intensité, de la durée du son ou par la variation de hauteur ou le timbre. Les accents peuvent introduire une organisation fruste qui peut suppléer à l'absence de structure temporelle différenciée. La place de l'accent principal au début ou à la fin du groupe est toute naturelle. Le mouvement accompagne le début ou la fin du groupe et facilite la ségrégation.

P. Fraisse, spécialiste du rythme dans ses aspects de structure et de périodicité et de ses effets moteurs et affectifs, s'est intéressé à l'organisation du rythme sans considérer explicitement l'idée de *mouvement*. Dans le même courant de la *Gestalt*, L. B. Meyer expose en 1956 quelques principes de perception de *mouvement* au sein de patterns musicaux.

1.2.1.3 Perception du mouvement du rythme suivant les lois de la Gestalt

Des travaux de la *Gestalt* vont préciser les conditions de perception du *mouvement* sonore et musical évoquées antérieurement par P. Souriau :

¹⁴⁰ Les structures commencent ou se terminent par des sons forts : Iiii ou iiiI est plus prégnant que iiii.

¹⁴¹ Les sons forts sont groupés et la forme IIii ou iiII est plus prégnante que la forme IiiI.

¹⁴² Ainsi, la structure IIIi est souvent reproduite iiiI ou Iiii.

« C'est grâce à la persistance des images auditives que nous pouvons percevoir le mouvement sonore proprement dit. »¹⁴³

En effet, selon les recherches de L. B. Meyer¹⁴⁴, l'appréhension d'une série de stimuli, physiquement discrets, comme constituant un pattern ou une forme, résulte de la capacité de l'esprit humain à relier les parties constituantes d'un stimulus ou de séries de stimulus à une autre partie de façon intelligible et significative. Une forme sonore est significative et signifiante parce que ses conséquences peuvent être envisagées avec un certain degré de probabilité. Pour qu'une impression de forme advienne, un ordre doit être perçu dans lequel les stimuli individuels deviennent des parties d'une structure plus large et exécutent des fonctions distinguables au sein de cette structure. L'unification et la différenciation sont deux conditions nécessaires mais non suffisantes pour l'appréhension de la forme et des patterns¹⁴⁵. La perception de toutes relations, quel que soit le style musical, nécessite l'existence à la fois de similarités et de différences entre plusieurs stimuli pour unifier et ségréger la forme. L'articulation est également une condition nécessaire et doit être suffisamment saillante relativement au contexte dans lequel elle apparaît.

La continuité de la forme est une condition de la perception du *mouvement* sonore. Selon le principe de bonne continuation, une forme tend, toutes choses étant égales, à être continuée dans son mode initial d'opérations. Comme l'indique K. Koffka,

« [...] au facteur de bonne continuation dans l'organisation purement spatiale correspond le facteur de courbe lisse de mouvement et de vitesse continue dans l'organisation spatio-temporelle. »¹⁴⁶

En réalité, une ligne ou un mouvement ne se perpétue pas. Ce n'est seulement qu'une série de stimuli inanimés. En fait, la perception de mouvement initie un processus mental qui tend à se perpétuer et se prolonger suivant une ligne mentale de moindre résistance. Le processus de détermination du mouvement est la continuation, qui est la norme de la progression musicale.

« Entre autres choses, cette loi contribue à expliquer notre capacité à entendre des stimuli discrets, séparés comme des mouvements et des formes continus. »¹⁴⁷

¹⁴³ SOURIAU, Paul, *L'esthétique du mouvement*, Paris, Alcan, 1889, p. 309.

¹⁴⁴ MEYER, Leonard B., *Emotion and Meaning in Music*, Chicago, The University of Chicago Press, 1956/1992.

¹⁴⁵ *Ibidem*, p. 159.

¹⁴⁶ Traduction de l'auteure. "[...] to the factor of good continuation in purely spatial organization there corresponds the factor of the smooth curve of motion and continuous velocity in spatio-temporal organization", KOFFKA, Kurt, *Principles of Gestalt Psychology*, New York, 1935, p. 303, in *ibid.*, p. 92.

¹⁴⁷ Traduction de l'auteure. "Among other things this law helps to account for our being able to hear separate, discrete stimuli as continuous motions and shapes.", MEYER, Leonard B., *op. cit.*, p. 92.

En assurant les connexions entre événements musicaux, basées sur la proximité et la similarité, la continuité de la forme permet de créer l'idée métaphorique que ces événements constituent une « chose » qui est « en mouvement », qu'ils sont plus ou moins étroitement « liés » et forment des progressions qui « bougent » dans une « direction » particulière. A contrario, des événements qui ne sont pas fortement connectés sont considérés comme formant des limites d'unités autonomes qui sont plus ou moins « fermées ». Les perturbations dans la continuation sont des points de déviation qui peuvent être soit des trouées dans le processus dans lequel un processus est temporairement arrêté puis continue à nouveau, soit des changements dans le processus, dans lequel il y a habituellement, mais pas nécessairement, une pause dans la ligne et une sorte de progression qui prend la place d'une autre. Ces deux perturbations peuvent apparaître ensemble, comme quand un changement de processus prend place après une pause dans la progression de la musique.

L. B. Meyer relativise ces considérations gestaltistes en fonction du contexte socio-culturel de l'auditeur. Il emploie la terminologie de la psychologie de la Gestalt et utilise les données issues de ses expérimentations sans pour autant adopter son explication théorique de la perception.

« [...] il est possible d'admettre les données empiriques et les lois, découvertes par les psychologues de la Gestalt sans pour autant adopter les explications hypothétiques fournies par la théorie. »¹⁴⁸

Il considère que l'apprentissage joue un rôle vital dans le conditionnement de l'opération des lois et des concepts gestaltistes¹⁴⁹ :

« Il est possible que, dans certaines circonstances, les lois de l'esprit soient indépendantes du conditionnement culturel. Cependant, lorsque la communication humaine est impliquée, bien que ces lois s'appliquent encore, elles agissent dans un contexte socio-culturel où l'attitude, la croyance et l'apprentissage tempèrent leur fonctionnement. »¹⁵⁰

Chaque système et chaque style forment des figures d'une manière différente, dépendant du matériel mélodique, de leurs interrelations, des normes de l'organisation rythmique, des attitudes avec la texture, etc. La perception et l'expérience musicale dépendent des réponses sensibles des auditeurs expérimentés. Les lois établies par la *Gestalt* peuvent donc mener à former la base d'une compréhension générale des modes d'attente naturels tels

¹⁴⁸ Traduction de l'auteure. « [...] it is possible to accept the empirical data, the laws, discovered by Gestalt psychologists without adopting the hypothetical explanations furnished by the theory. », *ibid.*, p. 83.

¹⁴⁹ Alors que la *Gestalt* attribue presque tout groupement à l'organisation spontanée des formes simples et tend à minimiser ou dénier le rôle de l'apprentissage dans la perception et dans l'organisation des figures.

¹⁵⁰ 'It is possible that the laws of the mind may in some circumstances be independent of cultural conditioning. Where human communication is involved, however, though the laws still operate, they do so within a social-cultural context where attitude, belief, and learning qualify their operation.', *ibid.*, p. 84.

qu'ils fonctionnent à l'intérieur d'un contexte culturel. On en déduit que la perception d'un *mouvement* sonore dans la musique reste conditionnée par le contexte socio-culturel.

1.2.1.4 Connotation de 'mouvement' en musique

L. B. Meyer se réfère à la philosophe S. K. Langer concernant l'analyse de la capacité humaine à détecter des formes symboliques tant dans la nature que dans la culture. Il rapproche deux expériences dynamiques, la musique et la vie, *via* le mouvement qui permet à l'auditeur d'effectuer des associations entre ces deux mondes :

« Presque tous les modes d'expérience, même ceux dans lesquels le mouvement n'est pas directement impliqué, sont d'une certaine manière associés qualitativement avec l'activité. Le printemps, la révolution, la noirceur, les pyramides, un cercle – chaque chose est vécue comme ayant un mouvement caractéristique. Si des connotations doivent être éveillées, il y aura une tendance à associer le mouvement musical en question avec un concept ou une image référents qui donne une impression de mouvement d'une qualité similaire. »¹⁵¹

Les écrits de L. B. Meyer initient la recherche sur des liens entre des propriétés du mouvement sonore et des propriétés musicales. La notion de mouvement dans la musique est abordée avec le problème des connotations et des images musicales qui lui sont associées par l'auditeur¹⁵². La musique éveille des connotations fondées sur des similarités existant entre notre expérience des matériaux musicaux et de leur organisation et notre expérience non musicale du monde, des concepts, images, objets, qualité et état d'esprit.

« La musique et la vie sont expérimentées comme des processus dynamiques de croissance et de décroissance, d'activité et de repos, de tension et de détente. Ces processus sont différenciés, non seulement par le cours et la forme des mouvements impliqués en eux, mais aussi par la qualité du mouvement. »¹⁵³

Un mouvement est caractérisé par un cours, une forme et une qualité : il peut être rapide ou lent, calme ou violent, continu ou sporadique, articulé ou vague. Ces types de propriétés devraient constituer une base commune permettant de rapprocher l'expérience de la musique de celle de la vie, *via* des images ou des concepts de mouvement. L. B. Meyer s'appuie sur l'unité de l'expérience perceptive, quelque soit le sens en question. Il reconnaît toutefois la difficulté à déterminer dans quelle mesure les associations entre musique et vie

¹⁵¹ 'Almost all modes of experience, even those in which motion is not directly involved, are somehow associated qualitatively with activity. Spring, revolution, darkness, the pyramids, a circle—each, depending upon our current opinion of it, is experienced as having a characteristic motion. If connotations are to be aroused at all, there will be a tendency to associate this musical motion in question with a referential concept or image that is felt to exhibit similar quality of motion.', *ibid.*, p. 261.

¹⁵² « Note on Image Processes, Connotations, and Moods », *ibid.*, p. 256-272.

¹⁵³ Traduction de l'auteur. "Both music and life are experienced as dynamic processes of growth and decay, activity and rest, tension and release. These processes are differentiated, not only by the course and shape of the motions involved in them, but also by the quality of the motion.", *ibid.*, p. 261.

sont naturelles ou sont les produits de conditionnements culturels. Il tente d'établir un rapport entre des propriétés musicales et l'évocation de connotations chez l'auditeur.

« Evidemment une connotation complexe et subtile n'est pas définie par chaque élément unique de l'organisation sonore. Considérer individuellement un aspect donné de l'organisation musicale est nécessaire mais n'est en aucun cas suffisant pour définir une connotation donnée. »¹⁵⁴

Le degré de spécificité¹⁵⁵ atteint dans l'association n'est pas simplement fonction du nombre d'éléments définissant la connotation. La spécificité de la connotation dépend de la divergence des éléments du son et du nombre d'éléments divergents, par rapport à un état neutre¹⁵⁶. Ces éléments sonores sont interdépendants eu égard à la neutralité et à la divergence. Par exemple, les changements de hauteur sont généralement accompagnés de changements dans les dynamiques, dans le timbre et parfois dans le tempo. En général, plus les éléments d'un pattern sonore sont marqués et divergent de la neutralité, plus ils évoquent des connotations, et plus spécifiquement ces connotations sont reliées. Les connotations éveillées par une œuvre aux éléments peu marqués et convergents seront déterminées par les dispositions et susceptibilités de l'auditeur plus que par la nature de l'organisation musicale elle-même. Le fait qu'une pièce musicale éveille des connotations est largement dépendant de la disposition et de l'entraînement de l'individu-auditeur et de la présence de signaux musicaux ou extra musicaux qui tendent à activer les réponses connotatives.

Les sons musicaux ne sont pas explicites dans les dénnotations de l'auditeur, hormis des cas isolés. Ils limitent et définissent des associations possibles mais, en l'absence de symboles musicaux et d'un programme fourni par les compositeurs, ils ne peuvent caractériser une connotation. Les matériaux musicaux et leur organisation sont les causes nécessaires pour une connotation donnée mais la somme des causes nécessaires ne peut équivaloir à une cause suffisante. La cause suffisante de toute connotation expérimentée doit être fournie par l'auditeur lui-même :

« Le fait que la musique ne puisse spécifier et caractériser les connotations qu'elle éveille a fréquemment été cité comme une difficulté fondamentale de toute tentative de théoriser sur les significations connotatives de la musique. D'un certain point de vue, la flexibilité de la connotation est une vertu. Cela permet à la musique d'exprimer ce qu'on pourrait appeler l'essence désincarnée du mythe, l'essence des expériences qui sont centrales et vitales dans l'existence humaine. »¹⁵⁷

¹⁵⁴ Traduction de l'auteure. "Obviously a complex and subtle connotation is not defined by any single element of the sound organization. Taken individually any one aspect of the musical organization is a necessary but by no means a sufficient cause for defining a given connotation.", *ibid.*, p. 263.

¹⁵⁵ *I.e.* degré avec lequel une disposition musicale donnée évoquera les connotations similaires chez tous les auditeurs dans un groupe culturel.

¹⁵⁶ Un tempo pourra sembler n'être ni rapide ni lent, un son, ni fort ni faible, une hauteur, ni élevée ni grave, *etc.*

¹⁵⁷ Traduction de l'auteure. "The fact that music cannot specify and particularize the connotations which it arouses has frequently been cited as a basic difficulty with any attempt to theorize about the connotative meanings of music. Yet from one point of view, this flexibility of connotation is a virtue. For it enables music to

Ce que la musique présente n'est pas chaque donnée de ces événements métaphoriques mais plutôt ce qui est commun à tous, ce qui leur permet de devenir des métaphores pour un autre. Elle présente un événement générique, un « complexe connotatif », qui se précise dans l'expérience de chaque individu. Finalement, l'auditeur fait une connotation concrète en s'appuyant sur son stock d'images culturellement établies ou en reliant le complexe connotatif à ses propres expériences. Mais dans tous les cas, il y a une connexion causale entre les matériaux musicaux, leur organisation et les connotations évoquées.

1.2.1.5 Les Unités Sémiotiques Temporelles, des archétypes de mouvement ?

La recherche menée sur les Unités Sémiotiques Temporelles, UST, et les travaux ultérieurs sur le *mouvement* perçu par l'auditeur au sein de ces unités musicales viennent enrichir les données sur l'écoute des aspects dynamiques de la musique. Elaborées en 1991 de façon empirique par les experts du MIM¹⁵⁸, les UST sont définies comme des figures sonores dont la signification musicale s'exprime temporellement. Ces formes génériques, voire prototypiques, sont identifiées comme des traces de gestes, des images de mouvements émergeant de configurations morphologiques complexes. Elles concernent la musique métrique et non métrique et touchent des répertoires musicaux du monde entier ainsi que la musique contemporaine. Elles émanent initialement de l'intuition sensible des experts du MIM qui remarquent que la musique électroacoustique a engendré un répertoire de figures temporelles en quelque sorte équivalentes aux figures rythmiques de la musique baroque.

Trois hypothèses majeures¹⁵⁹ sont posées initialement sur les UST. Elles sont porteuses de sens et constituent des éléments non verbaux de communication qui peuvent être communs aux différents domaines artistiques ; elles présentent une relation d'homologie avec des modèles temporels « naturels » et un caractère universel car elles ne sont pas propres à une culture, une époque ou un genre ; elles peuvent être considérées comme des archétypes de mouvements : les variations dans le temps des caractéristiques du son évoquent souvent des représentations de mouvements.

express what might be called the disembodied essence of myth, the essence of experiences which are central to and vital in human existence.”, *ibid.*, p. 264-265.

¹⁵⁸ Chercheurs, compositeurs et musiciens au laboratoire Musique et Informatique de Marseille.

¹⁵⁹ GOBIN, Pascal et DELALANDE, François, « Les unités sémiotiques temporelles Un niveau d'analyse de l'organisation musicale du temps », *Les Universaux en musique*, Actes du 4^e Congrès international sur la signification musicale, éd. Costin Miereanu et Xavier Hascher, 1992, p. 573-587 ; MIM, « Les Unités Sémiotiques Temporelles - Eléments nouveaux d'analyse musicale », *MUSURGIA*, Marseille, Laboratoire Musique et Informatique de Marseille, 1996.

- **Unités Sémiotiques Temporelles : Segmentation-Signification-Mouvement**

Unité et segmentation : une UST est un segment musical minimal qui possède, même hors contexte, une signification temporelle précise due à son organisation morphologique. Le critère de segmentation est sémantique et non morphologique, i.e. que les bornes du segment sont déterminées par la signification temporelle caractéristique.

Sémiotique et signification : une UST est la plus petite unité douée de sens. Elle conserve cette signification temporelle une fois isolée. Le « découpage » doit intégrer la « force formatrice » et/ou l'aspect dynamique de sa signification¹⁶⁰. Les unités doivent leur signification à leur structure interne. Cependant, certaines unités ont des traits caractéristiques plus nuancés ; il est alors difficile de déterminer leur appartenance à telle ou telle catégorie précise. Il existe également des cas limites d'UST dans lesquelles on perçoit plusieurs significations temporelles différentes.

Temporalité et mouvement :

« Le temps est une catégorie qui reste abstraite, en musique. Le temps est mis en relation non pas avec une dimension sensorielle particulière mais avec n'importe quelle expérience de la vie, des actes, des successions d'événements quelconques. Il n'a pas d'attribut sensoriel propre, ce n'est qu'un axe vide sur lequel s'inscrivent d'autres expériences. Le temps est donc accessible à travers des durées ou des variations d'une ou plusieurs qualités morphologiques du son. »¹⁶¹

La variation dans le temps des qualités morphologiques du son appelle souvent des représentations de mouvement. Ainsi, certaines configurations morphologiques semblent présenter une signification temporelle suffisamment typique pour être considérées comme UST mais évoquent par ailleurs des images de mouvement tout aussi typiques. Leur nom même traduit leur aspect dynamique : *Elan*, *Qui avance*, *Qui tourne*, etc. Comme le suggère F. Delalande¹⁶², les UST pourraient être des archétypes de mouvement, ce qui expliquerait leur caractère apparemment universel. Une organisation temporelle précise, croisée avec une représentation de l'espace, engendre une figuration de mouvement. Certaines unités¹⁶³ provoquent même une sensation qui engage autant le corps que l'oreille. Deux attitudes d'écoute se différencient suivant que l'on se place dans le mouvement ou à l'extérieur.

¹⁶⁰ Par exemple, le point d'appui qui génère l'élan ou le mouvement qui s'interrompt dans une position d'attente de suspension-interrogation.

¹⁶¹ MIM, *op. cit.*, p. 23.

¹⁶² *Ibidem.*

¹⁶³ Par exemple, la sensation d'un vécu physique dans l'UST *Qui tourne*.

Les UST ont trois types de caractéristiques sonores :

- morphologiques : durée (délimitée dans le temps¹⁶⁴/ non délimitée dans le temps) ; répétition (avec/sans) ; nombre de phases (une/plusieurs) ; matière sonore (continue/discontinue) ;
- cinétiques : accélération (oui/non/positive/négative/variée) ; déroulement temporel (rapide/moyen/lent) ;
- sémantiques : elles expriment, sous forme de métaphore, le ressenti de l'auditeur à l'écoute d'une UST et définissent les caractères dynamiques qui animent cette structure temporelle, la direction (avec/sans), l'énergie (convertie/maintenue/accumulée/retenue), le *mouvement* (déplacement/sans déplacement).

« Mouvement : qualification sémantique faisant référence à la sensation de mobilité ressentie à l'écoute d'une UST. »¹⁶⁵

Une typologie recense 19 UST, chacune constituant une classe d'équivalence de segments musicaux qui possèdent même hors contexte une signification temporelle identique en raison d'une organisation morphologique et dynamique analogue. Chaque catégorie est désignée par une appellation métaphorique¹⁶⁶ :

« *Chute ; Contracté étendu ; Elan ; En flottement ; En suspension ; Etirement ; Freinage ; Lourdeur ; Obsessionnel ; Par vagues ; Qui avance ; Qui tourne ; Qui veut démarrer ; Sans direction par divergence d'information ; Sans direction par excès d'information ; Stationnaire ; Sur l'erre ; Suspension-interrogation ; Trajectoire inexorable* ».

Prolongeant la réflexion sur les UST, des travaux ultérieurs¹⁶⁷ questionnent la pertinence de la qualité de « mouvement » comme critère de classement, la généralisation des UST à tout média et leur validité cognitive chez les auditeurs.

- **Le *mouvement*, critère de classement des UST ?**

Le *mouvement* comme caractéristique de catégorisation des UST semble problématique pour diverses raisons. De manière générale, il n'existe pas de classification du mouvement. Quant au caractère de *mouvement*, la sensation de mouvement ressentie à l'écoute d'une UST est rapportée à son « déplacement », de sorte que *Qui tourne* et *Par*

¹⁶⁴ Deux grandes classes d'UST sont distinguées : celles avec un début et une fin précisément marqués dans le temps et d'une durée délimitée, de 5 à 10 secondes, susceptibles de s'inscrire dans l'empan de mémoire immédiate et d'être intégrée comme une forme, et celles non délimitées dans le temps, qui s'entendent comme un processus continu qui pourrait durer éternellement et n'ont ni commencement ni fin apparents.

¹⁶⁵ Glossaire, *in ibid.*, p. 94.

¹⁶⁶ L'étiquette fait référence à quelque chose d'extra musical.

¹⁶⁷ *Vers une sémiotique générale du temps dans les arts*, Actes du colloque "Les Unités Sémiotiques Temporelles (UST), nouvel outil d'analyse musicale : théories et applications" Marseille 7-9 décembre 2005, sous la direction de Emmanuelle Rix et Marcel Formosa, Coédition Ircam - Centre Pompidou/Delatour France, 2008.

vagues sont sans mouvement, ce qui semble discutable si l'on considère le mouvement d'un seul élément (par exemple, un tour, une vague). Par ailleurs, les caractères morphologiques des segments musicaux caractérisés par le mouvement ne sont pas précisément décrits. Parmi les caractéristiques sémantiques « direction/énergie/mouvement », la « direction » peut être une des propriétés définissant le « mouvement » lui-même. De même, les caractéristiques cinétiques pourraient se rapporter au mouvement.

Il semble possible de regrouper les UST sur la base du mouvement suivant les caractéristiques cinétiques et sémantiques. On étend ainsi l'évocation du mouvement à des caractéristiques générales de dynamiques : déplacement, direction, cinétique, déroulement dans le temps. Les UST les plus évocatrices de mouvement seraient celles qui répondent à l'ensemble de ces critères : *Qui avance* ; *Chute* ; *Elan* ; *Freinage* ; *Éirement* ; *Qui tourne* ; *Par vagues*. Suivant une approche sémiotique globale, X. Hautbois¹⁶⁸ propose de classer en théorie¹⁶⁹ les UST suivant deux types de mouvements, selon que leur évolution temporelle varie ou non :

- UST de type invariant : malgré leur développement intérieur, ces UST ne changent pas d'état et ne se manifestent globalement par aucune évolution.

- par répétition : *Par vagues* ; *Qui tourne* ; *Obsessionnel*.

- par stagnation : *En suspension* ; *Stationnaire* ; *En flottement*.

- par effet chaotique : *Sans direction par divergence information* et *par excès de d'information*.

- UST de type variant : la temporalité se caractérise par une variation, une progression, une action.

- à évolution uniforme : *Qui avance* ; *Trajectoires inexorables* ; *Lourdeur*.

- à évolution contrariée : *Sur l'erre* ; *Freinage* ; *Éirement* ; *Qui veut démarrer*.

- avec un équilibre rompu : *Chute* ; *Elan* ; *Contracté-étendu* ; *Suspension-interrogation*.

Si l'on considère le mouvement comme une variation de paramètres dans le temps, le classement des UST de type variant semble effectivement pertinent sur le plan de l'appréhension du mouvement. On pourrait y adjoindre deux UST invariantes par répétition d'une « micro-unité élémentaire », *Par vagues*, avec une vague pour unité, et *Qui tourne*, avec un tour pour unité, leur développement intérieur laissant une impression de mouvement, de flux et de rotation.

¹⁶⁸ HAUTOIS, Xavier, « *Les Unités Sémiotiques Temporelles : de la sémiotique musicale vers une sémiotique générale du temps dans les arts* », www.musimediane.com, le 10/12/2010.

¹⁶⁹ Ce classement, plus conceptuel qu'empirique, nécessiterait une validation par des tests d'audition.

- **Validité cognitive des UST ?**

Les UST, déterminées et décrites par des auditeurs experts, sont-elles pertinentes pour tout auditeur ou nécessitent-elles un certain nombre de connaissances a priori et une attitude d'écoute particulière ? A. Frey mène une expérience¹⁷⁰ pour savoir si les auditeurs groupent préférentiellement les extraits musicaux appartenant à la même catégorie d'UST. S'ils n'y parviennent pas, l'auteur suppose qu'ils n'en extraient pas les propriétés définitoires et que celles-ci ne sont donc pas psychologiquement pertinentes. Les résultats¹⁷¹ valident dans l'ensemble la pertinence des catégories d'UST. L'expertise nécessaire pour les percevoir serait plus liée à l'écoute, largement partagée, qu'on soit musicien ou non, qu'à la pratique musicale. On peut donc considérer que ces unités perceptives font sens pour les auditeurs. En ce sens, l'UST comme unité physique conduit à l'UST comme unité cognitive¹⁷². Les processus perceptifs et cognitifs engagés dans la tâche de catégorisation sont largement indépendants des connaissances musicales explicites et reposent sur des processus généraux fondés sur des connaissances implicites. Il est possible que la forte variabilité observée dans le comportement de segmentation soit liée dans une certaine mesure à une facilité de certains auditeurs à extraire des régularités dans l'environnement et donc à découvrir des règles. Mais les différences entre auditeurs proviennent également des UST : certaines sont mieux reconnues que d'autres dont le taux de confusion élevé peut provenir d'une mauvaise définition ou d'un manque de distinction entre des catégories qui seraient trop proches d'un point de vue temporel. Il est possible que certains des extraits choisis par le MIM et utilisés dans les expériences pour représenter chaque catégorie soient plus prototypiques que d'autres. La formalisation des UST semble justifiée d'un point de vue théorique mais la validité perceptive de certaines catégories reste contestable.

1.2.2 Le mouvement du rythme selon le rythme comme phénomène perçu-agi

Au cours du XX^e siècle, la théorie de la perception musicale a évolué, le paradigme cognitif passant de la *Gestalttheorie* à *l'enaction*. En conséquence, le rythme sera considéré comme une 'expérience' et le *mouvement* du rythme sera directement relié au mouvement corporel de l'auditeur. Ce rapport du rythme au mouvement peut être considéré selon un double point de vue : soit le mouvement engendre le rythme, avec l'hypothèse que le rythme

¹⁷⁰ FREY, Aline, *Traitement perceptif et auditif de l'information auditive et musicale : segmentation des flux et figures sonores*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, Psychologie des processus cognitifs, dir. Charles Tijus, 2009.

¹⁷¹ *Ibidem*, p. 170.

¹⁷² CHAPUY, Kevin, *in Vers une sémiotique générale du temps dans les arts*, Actes du colloque "Les Unités Sémiotiques Temporelles (UST), nouvel outil d'analyse musicale : théories et applications" Marseille 7-9 décembre 2005, sous la direction de Emmanuelle Rix et Marcel Formosa, Coédition Ircam - Centre Pompidou/Delatour France, 2008.

peut traduire le mouvement, soit le rythme engendre le mouvement, l'hypothèse étant que le mouvement peut traduire le rythme.

1.2.2.1 De la perception du rythme à l'expérience rythmique

Au XX^e siècle, la notion d'*expérience rythmique* a supplanté le terme « perception », attestant l'importance des liens qui existent entre perception rythmique et motricité. Chronologiquement, de la fin XIX^e siècle jusqu'aux années 70, diverses approches du rythme s'intéressent à ses aspects moteurs et affectifs.

En 1874, W. Wundt met en évidence¹⁷³ le caractère synthétique de la perception du rythme, articulant trois aspects essentiels, perceptifs, moteurs et affectifs. T. L. Bolton relate en 1894 les résultats de nombreuses expériences sur la perception des rythmes et sur la rythmisation subjective¹⁷⁴. Des mouvements musculaires parfois inconscients accompagnent les rythmes. Réprimés, ils reparaissent dans un autre muscle. Ces mouvements aident à retenir les groupements rythmiques. Ils ne sont pas simplement le résultat mais la condition de l'expérience rythmique. E. Meumann, bien qu'opposé à toute théorie motrice du rythme, reconnaît en 1894 le rôle primordial des mouvements dans l'appréciation du temps musical¹⁷⁵. R. MacDougall confirme cette conclusion en 1903. Il souligne le caractère actif de toute expérience du rythme et vise à constituer une théorie motrice du rythme¹⁷⁶. Il note que la séquence des stimulations auditives engendre un accompagnement parallèle sous forme de réflexes sensoriels surgissant en diverses parties du corps. L'impression de rythme doit son apparition à un système de sensations kinesthésiques déclenchées par ce type de réactions motrices¹⁷⁷. Il note que même « l'expérience de l'accent », qui constitue la condition nécessaire de la perception du rythme, a une nature motrice, active. Le rythme n'est donc pas un simple fait de perception : il inclut une attitude active de la part du sujet percevant. K. Koffka considère¹⁷⁸ en 1909 que les représentations motrices jouent un rôle capital dans l'expérience du rythme. Elles interviennent presque toujours et sont la plupart du temps très

¹⁷³ WUNDT, Wilhelm M., *Eléments de psychologie physiologique*, Paris, Alcan, 1874/trad. 1886.

¹⁷⁴ BOLTON, Thaddeus L., "Rhythm", *American Journal of Psychology*, 6, 1894, p. 145-238.

¹⁷⁵ MEUMANN, Ernst, "Untersuchungen zur Psychologie und Aesthetik des Rhythmus", *Philosophische Studien*, 10, 1894, p. 249-322.

¹⁷⁶ MacDOUGALL, Robert, "The Structure of Simple Rhythm Forms", *Psychology Review*, 4, 1903, p. 309-416.

¹⁷⁷ Ces réactions consistent en contractions musculaires de la langue, des muscles de la tête, des mâchoires, des doigts, des jambes, en tensions surgissant dans le larynx, la tête, le thorax et les extrémités, en contractions esquissées de la musculature de la tête et de l'appareil respiratoire, et enfin en une stimulation simultanée de muscles antagonistes (fléchisseurs extenseurs) déclenchant une suite de tension et de détente sans que l'organe change de place.

¹⁷⁸ KOFFKA, Kurt, "Experimental-Untersuchungen zur Lehre vom Rhythmus", *Zeitschrift für Psychologie*, 52, 1909, p. 1-109.

difficiles à réprimer. Il conclut que toute expérience du rythme, à commencer par la simple perception de celui-ci, est liée à une certaine activité spécifique, à une « sensation originale d'action ». R. H. Seashore décrit en détail¹⁷⁹ en 1926 ce rôle moteur dans la perception du temps musical. La perception de l'égalité ou de la différence des intervalles temporels en musique n'est pas un processus passif ni une évaluation purement cognitive. L'expérience du temps est plutôt une pesée de nos propres mouvements qui peuvent être réels¹⁸⁰ ou imaginaires, le plus souvent l'un et l'autre à la fois. C. A. Ruckmich, père de l'expression « *expérience rythmique* »¹⁸¹, découvre en 1927 dans une étude expérimentale consacrée au sens du rythme que chez tous ses sujets les sensations motrices sont la condition nécessaire à l'instauration de la perception du rythme. En revanche, lorsque la perception rythmique est établie, un rythme invariablement prolongé peut se maintenir dans la conscience sans l'aide de sensation motrice, soutenu par les seules sensations et images auditives et visuelles.

De ces recherches antérieures, en 1952, B. M. Teplov conclut que la perception du rythme inclut généralement des réactions motrices, avec des mouvements visibles ou embryonnaires¹⁸². La plupart des sujets n'ont pas conscience de leurs réactions motrices tant que leur attention n'est pas attirée sur elles. Les efforts faits pour réprimer ces réactions ne font que les transférer sur d'autres organes, quand ils n'interrompent pas l'expérience rythmique elle-même. L'expérience rythmique est active de par son essence même. L'auditeur n'entend le rythme que lorsqu'il le « coproduit », qu'il y « coopère ».

« Si la perception du rythme présente tant d'intérêt pour le psychologue, c'est justement parce qu'on y voit avec une netteté sans égale 1/ que la perception n'est pas un 'processus purement spirituel' et 2/ qu'elle est un processus actif et moteur... Toute perception musicale véritable est donc un processus actif, qui ne suppose pas seulement l'audition, mais aussi la 'coopération' ; or celle-ci n'est pas un acte purement psychique, mais comprend des phénomènes 'corporels', très divers, et surtout des mouvements. La perception de la musique n'est donc jamais un processus purement auditif ; elle est toujours d'ordre auditivo-moteur. »¹⁸³

P. Fraisse considère en 1956 que l'expérience rythmique prend en compte la charge affective de l'induction motrice et de la synchronisation rythmique que toute régularité sonore engendre.

¹⁷⁹ SEASHORE, Robert H., "Studies in motor rhythm", *Psychological monographs*, 36(1), 1926, p. 142-189.

¹⁸⁰ Les mouvements réels peuvent être esquissés ou complets. Les mouvements esquissés les plus caractéristiques sont ceux des cordes vocales et des autres parties de l'appareil vocal, dont l'innervation sert à l'expression vocale des sons entendus, mais aussi ceux des doigts, des lèvres ou des autres muscles nécessaires à la reproduction instrumentale.

¹⁸¹ RUCKMICH, Christian A., "The rhythmical experience from the systematic point of view", *American Journal of Psychology*, 39, 1927, p. 355-366.

¹⁸² N'apparaissant pas au dehors.

¹⁸³ *Ibid.*

« Le mouvement rythmé nous fournit l'expérience concrète du rythme, avec ses composantes perceptives, motrices et affectives. »¹⁸⁴

En 1964, E. Hiriartborde caractérise le rythme par son unité perceptivo-motrice¹⁸⁵, de sorte qu'il est difficile de l'isoler de ses manifestations motrices. La motricité se présente comme une de ses composantes essentielles : par le mouvement corporel, le sens du temps rejoint le sens de l'espace. P. Fraisse revient sur l'expérience rythmique en 1974 :

« La perception du rythme est faite tout à la fois de la perception de structures et de leur répétition. La complexité de cette perception et ses incidences motrices et affectives nous conduisent à parler d'expérience rythmique pour reprendre l'expression de Ruckmich (1927) plutôt que de *perception*. »¹⁸⁶

Rejoignant l'idée de B. M. Teplov sur la perception audio-motrice de la musique, il précise que la notion d'expérience rythmique prend en considération le fait que

« Le rythme est perçu et agi tout à la fois. »¹⁸⁷

Il note la complexité de l'idée d'expérience, par extension du domaine de la perception aux domaines moteurs et affectifs :

« L'expérience rythmique est composite, complexe. Son analyse s'avère souvent difficile, malaisée. Elle a une base perceptive car elle n'existe que si le retour périodique des structures est perçu. Mais l'idée d'expérience est bien plus complexe que celle de perception : elle élargit l'aspect perceptif car il est le plus souvent accompagné de stimuli moteurs et de réactions émotionnelles. »¹⁸⁸

En 1975, il considère le rythme comme beaucoup plus qu'une *Gestalt* :

« [...] c'est un mode préférentiel d'unir perception et action, la source de manifestations sociales et la base des arts de la succession et du mouvement. »¹⁸⁹

1.2.2.2 De l'expérience rythmique à la cognition musicale incarnée du rythme

A la fin du XX^e siècle, la notion d'expérience rythmique est réinterprétée dans un système où perception et action sont inséparables. L'écoute musicale associée au mouvement corporel se situe dans le cadre particulier de la cognition musicale incarnée, intégré dans un cadre général de la cognition incarnée, de l'*enaction* et du couplage perception-action.

¹⁸⁴ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1956, p. 5.

¹⁸⁵ HIRIARTBORDE, Edmond, *Les aptitudes rythmiques Etude de psychologie différentielle*, Paris, Dactylo-Sorbonne, 1964.

¹⁸⁶ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974, p. 107.

¹⁸⁷ *Ibidem*, p. 11.

¹⁸⁸ *Ibid.*, p. 197.

¹⁸⁹ FRAISSE, Paul, "Is Rhythm a Gestalt?", *Gestalttheorie in der modernen Psychologie*, ed. S. Ertel, L. Kemmler and M. Sadler (eds), Darmstadt, Steinkopff, 1975, p. 232.

- **Paradigme de la cognition incarnée**

Au cours du XX^e siècle, des philosophes et des scientifiques se sont intéressés au rôle de l'action dans la connaissance du monde. Ainsi, en 1941, H. Wallon, étudiant les activités mentales de l'enfant par l'acte et « l'effet » qu'il produit, émet l'idée que

« La perception est activité tout autant que sensation ; elle est essentiellement adaptation. »¹⁹⁰

Cette adaptation est dirigée par les effets de l'activité sur l'activité elle-même. Le psychologue constate que l'effet produit par un geste suscite un nouveau geste destiné à le reproduire et souvent à le modifier au cours de séries à variations systématiques. L'effet n'est pas extérieur à l'acte mais en est à tout instant et simultanément le résultat et le régulateur.

« La distinction de l'effet et de l'action n'est [...] qu'une simple abstraction : dans toute action il y a quelque chose qui est son contenu, son occasion, son but. Toute action se mesure aux changements soit subjectifs, soit objectifs qu'elle provoque ou cherche à provoquer. »¹⁹¹

Concernant les interrelations entre l'organisme et son environnement, M. Merleau-Ponty note en 1945 que l'organisme donne forme à son environnement en même temps qu'il est façonné par lui :

« Les propriétés de l'objet et les intentions du sujet [...] non seulement se mélangent, mais encore constituent un tout nouveau. [...] Ainsi la forme de l'excitant est *créée par* l'organisme lui-même, par sa manière propre de s'offrir aux actions du dehors. Sans doute, pour pouvoir subsister, il doit rencontrer autour de lui un certain nombre d'agents physiques et chimiques. Mais c'est lui, selon la nature propre de ses récepteurs, selon les seuils de ses centres nerveux, selon les mouvements de ses organes, *qui choisit dans le monde physique les stimuli auxquels il sera sensible.* »¹⁹²

Ultérieurement, le lien étroit entre corps et perception est décrit dans la littérature de la cognition « incarnée » ou « située ». Ainsi, en 1989, F. J. Varela¹⁹³ souligne le rôle des actions et des transformations qui *font émerger* la connaissance du réel. Par cognition 'incarnée', l'auteur entend que :

« Tout d'abord, la cognition dépend des types d'expérience qui découlent du fait d'avoir un corps doté de diverses capacités sensori-motrices ; en second lieu, ces capacités individuelles sensori-motrices s'inscrivent elles-mêmes dans un contexte biologique, psychologique et culturel plus large. »¹⁹⁴

¹⁹⁰ WALLON, Henri, *L'évolution psychologique de l'enfant*, Paris, Armand Colin, 1941/2002, p. 43.

¹⁹¹ *Ibidem*, p. 45.

¹⁹² MERLEAU-PONTY, Maurice, *La phénoménologie de la perception*, Paris, Gallimard, 1945, p. 11-12.

¹⁹³ VARELA, Francisco J., *Connaître les sciences cognitives Tendances et perspectives*, Paris, Seuil, 1989.

¹⁹⁴ VARELA, Francisco J., THOMPSON, Evan et ROSCH, Eleanor, *L'inscription corporelle de l'esprit*, Paris, Seuil, 1993, p. 234.

La thèse centrale des théories¹⁹⁵ de la cognition incarnée est que non seulement les capacités sensorimotrices, le corps et l'environnement jouent un rôle important dans la cognition mais que la manière dont les éléments interagissent donne aux capacités cognitives la possibilité de se développer et détermine leur nature précise. Trois hypothèses théoriques étoffent cette thèse. La première est la primauté des actions dirigées vers un but et qui apparaissent en temps réel¹⁹⁶. Les pensées résultent de la capacité d'un organisme à agir avec son environnement. Quand l'organisme apprend à contrôler ses mouvements et accomplit des actions, il développe la compréhension de ses propres capacités de base, perceptives et motrices qui lui servent de premiers pas essentiels à l'acquisition de processus cognitifs plus complexes comme le langage¹⁹⁷. La deuxième hypothèse est qu'une forme d'incorporation détermine le type de cognition. L'incarnation d'un organisme limite et prescrit les types de processus cognitifs qui lui sont disponibles. La manière dont un organisme est incarné influence comment il réalise les actions dirigées vers un but dans le monde. Les expériences sensorimotrices particulières connectées à ces actions servent de base de catégorisation et de formation de concepts. Le feed-back continu de ces expériences sert à l'organisme de base de compréhension de son interaction avec le milieu. Leur variété précise le type de catégories, de concepts que l'organisme est capable de former. La manière dont nous sommes incarnés détermine le type de patterns d'actions que nous pouvons réaliser et qui forment nos fonctions cognitives¹⁹⁸. Enfin, selon la troisième hypothèse, la cognition est constructive. Notre forme d'incarnation contraint la manière suivant laquelle nous interagissons avec le monde mais elle détermine également en partie la façon dont le monde nous apparaît. Si la manière par laquelle nous conceptualisons et nous catégorisons est fondée sur la manière dont nous sommes incarnés, alors concepts et catégories sont activement construits et non purement appréhendés d'un environnement observé et indépendant. Si la cognition est constructive, il n'y a pas *une* manière exacte de voir le monde. La vision du monde propre à un organisme est le résultat direct de ses expériences sensorimotrices fonctionnelles fondamentales, activement construites pour faciliter la formation de concepts. Nous projetons des caractéristiques sur le monde parce qu'elles reflètent la compréhension fondamentale que nous avons de notre

¹⁹⁵ Les apports de la cognition incarnée sont formulés dans divers champs dont la science cognitive, la psychologie développementale, la robotique, la linguistique et la philosophie de l'esprit. In COWART, Monica, "Embodied Cognition", *Internet Encyclopedia of Philosophy*, 2004, www.iep.utm.edu/embodcog/, le 11/03/2011.

¹⁹⁶ Cette hypothèse est expliquée par les recherches en robotique, vie artificielle et psychologie du développement.

¹⁹⁷ Les théories incarnées soutiennent que pensée et langage n'apparaîtraient pas sans la performance initiale de ces actions dirigées vers un but.

¹⁹⁸ *I.e.* la manière dont nous pouvons conceptualiser et catégoriser.

propre corps. En conséquence, si nous étions incarnés différemment, nous verrions le monde autrement, suivant nos nouvelles caractéristiques corporelles.

« Sous le label de ‘cognition incarnée’, on peut maintenant mieux comprendre l’intégration de gestes avec la perception et la pensée en général, incluant des éclairages sur comment le mouvement du corps est à la fois une réponse à ce que nous percevons et une contribution active à notre perception du monde. »¹⁹⁹

F. J. Varela utilise et fait prévaloir le concept d’*enaction* – connaître à travers l’action, en transformant – sur le concept de *représentation*.

« Le terme *enaction* désigne une nouvelle perspective dans les sciences cognitives. Dans le programme enactif, nous mettons explicitement en question le présupposé [...] selon lequel la cognition consisterait en la représentation d’un monde indépendant de nos capacités perceptives et cognitives. La cognition est conçue comme *action incarnée (embodied cognition)*. Le terme action souligne que la perception et l’action sont fondamentalement inséparables dans la cognition vécue. En effet, elles ne sont pas associées dans les individus par simple contingence ; elles ont aussi évolué ensemble. »²⁰⁰

L’approche de l’enaction se compose de deux points essentiels : la perception consiste en une action guidée par la perception ; les structures cognitives émergent de schèmes sensori-moteurs récurrents qui permettent à l’action d’être guidée par la perception. Dans cette perspective, la perception n’est pas simplement contrainte par l’environnement mais elle contribue aussi à l’enaction de ce monde environnant. L’auteur renoue avec la théorie piagétienne selon laquelle l’objectivité et la subjectivité se construisent conjointement et de façon complémentaire à travers l’action incessante du sujet modélisateur sur son milieu. Cependant, par rapport au cognitivisme princeps, il réintroduit la dimension développementale de la cognition. Dans ce système néo-constructiviste, la normativité logico-mathématique cède la place au flux des significations contextuelles.

- **Mécanisme central de la cognition incarnée : le couplage perception-action**

Dans le cognitivisme classique, la cognition est identifiée à un système de traitement linéaire de l’information. Les données issues des sens sont considérées comme une entrée à laquelle succède la perception et le raisonnement, qui finalement débouchent sur l’action envisagée comme une sortie. Dans la perspective de l’enaction, cette séquence linéaire est transformée en boucle sensorimotrice où l’action produit des effets en retour sur les sensations ; elle est constitutive de la perception elle-même.

¹⁹⁹ Traduction de l’auteure. “Under the label of ‘embodied cognition’, we can now better understand the integration of gesture with perception and with thinking in general, including insights on how body movement is both a response to whatever we perceive and an active contribution to our perception of the world.”, GODØY, Rolf Inge and LEMAN, Marc (ed.), *Musical Gestures Sound, Movement, and Meaning*, New York, Routledge, 2010, p. 4.

²⁰⁰ *Ibidem*, p. 23.

Vers la fin des années 1990, la découverte des neurones miroirs²⁰¹ fournit la preuve directe de l'existence d'une structure neuronale commune pour l'action et la perception. Dans le domaine de la vision, les chercheurs observent que lorsqu'un observateur regarde une autre personne exécuter un acte finalisé, ses neurones miroirs situés dans le cortex moteur préfrontal déchargent de la même façon que s'il avait lui-même exécuté l'acte. Autrement dit, l'observateur fait virtuellement l'expérience de l'acteur dont l'intentionnalité est décodée via l'activité des neurones miroirs²⁰². Cette activité est fortement influencée par le contexte local. En fait, elle est logiquement liée aux actes moteurs engendrés par le contexte²⁰³. Les neurones miroirs fonctionnent également pour les stimuli dans le domaine de l'audition²⁰⁴. Si, sans voir la scène, une personne entend le son caractéristique d'un acte spécifique²⁰⁵, ses neurones moteurs déchargent comme si elle-même avait agi. Et lorsque des individus imaginent une action, leurs neurones miroirs déchargent comme s'ils accomplissaient cette action.

L'enregistrement de neurones multimodaux²⁰⁶ révèle que la plupart d'entre eux s'activent non seulement durant l'exécution d'actes moteurs mais qu'ils répondent aussi à des stimuli sensoriels, par exemple lors de la vision ou de l'audition de ces actions exécutées par d'autres individus²⁰⁷. On parle de mécanismes de cognition et de « représentation de l'action » : la cognition d'événements sonores, comme dans la musique, est reliée à celle des mouvements moteurs, comme dans la danse. Des neurones *trimodaux*²⁰⁸ sont capables de répondre à des stimuli auditifs, somato-sensoriels et visuels, codant les actions, qu'elles soient effectuées, vues ou entendues²⁰⁹. Ils déchargent durant l'exécution d'action motrice spécifique et codent également des contenus abstraits comme la signification des actions. Ces neurones pourraient être utilisés pour planifier et exécuter des actions et pour reconnaître les actions d'autrui, même si elles ne sont entendues que par l'évocation des idées motrices.

²⁰¹ RIZZOLATTI, Giacomo *et al.*, "Premotor cortex and the recognition of motor actions", *Cognition Brain Research*, (3), 1996, p. 131-141. GALLESE, Vittorio, "The « shared manifold » Hypothesis : From mirror neurons to empathy", *Journal of Consciousness Studies*, (8), 2001, p. 33-50.

²⁰² Les neurones dans le cerveau de l'observateur imitent, en quelque sorte, les neurones de la personne observée, d'où le terme « miroir ».

²⁰³ IACOBONI, Marco *et al.*, "Cortical Mechanisms of Human Imitation", *Science*, Vol. 286, N°5449, 1999, p. 2526-2528.

²⁰⁴ RIZZOLATTI, Giacomo, FOGASSI, Leonardo, GALLESE, Vittorio, "Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action", *National Review of Neurosciences*, (2), 2001, p. 661-670.

²⁰⁵ Comme le bruit du papier qui se déchire.

²⁰⁶ On distingue les neurones somato-sensoriels, activés par des stimuli tactiles superficiels, et les neurones somato-sensoriels et visuels dits *bimodaux*, activés par des stimuli visuels. Ils ont été décrits dans plusieurs aires corticales et centres subcorticaux, incluant la région temporale supérieure, le cortex ventral prémoteur, et le colliculus supérieur. RIZZOLATTI, Giacomo et SINIGAGLIA, Corrado, *Les neurones miroirs*, Paris, Odile Jacob, 2008.

²⁰⁷ KOHLER, Evelyne *et al.*, "Hearing sounds, understanding actions : Actions representation in mirror neurons", *Science*, 297, 2002, p. 848.

²⁰⁸ Situés dans l'aire F5. GRAZIANO, Michael S.A., RIESS, Lina A.J., GROSS, Charles G., "A neuronal representation of the location of nearby sounds", *Nature*, 397, 1999, p. 428-430.

²⁰⁹ KOHLER, Evelyne *et al.*, *op. cit.*

Dans le domaine musical, des recherches en imagerie cérébrale sur les neurones miroirs²¹⁰ et sur les liens entre écoute et système moteur fournissent des preuves de couplage perception-action. Des études indiquent que le mouvement corporel est plus fortement connecté au système auditif qu'au système visuel²¹¹. On constate que les sujets échouent à synchroniser leurs frappes avec des stimuli visuels métriques non isochrones alors qu'ils n'ont aucune difficulté à les synchroniser avec des stimuli auditifs similaires.

Les substrats neuronaux qui médiatisent perception et action peuvent être étroitement couplés. Ainsi, des événements perceptifs sont souvent inextricablement liés aux actions motrices, par exemple l'écoute d'une pièce musicale connue peut évoquer l'image de mouvements faits pour l'exécuter. La vision de la performance musicale et la perception de la musique engagent des régions motrices²¹² dans le cerveau²¹³, même lorsque l'événement perçu est totalement dissocié d'un processus d'action²¹⁴. Les systèmes audiomoteurs sont interconnectés de sorte que les patterns musicaux provoquent de fortes réponses motrices²¹⁵. Par exemple, les sujets sont capables de taper synchroniquement des doigts avec des rythmes cardiaques, même en faisant des ajustements quand les changements de tempo sont sous le seuil de détection²¹⁶. De tels effets peuvent être améliorés par les neurones miroirs²¹⁷.

Écouter la musique active diverses régions du cerveau dans l'ordre suivant : le cortex auditif analyse le son ; les régions frontales analysent la structure musicale ; le système mésolimbique, impliqué dans le plaisir et l'excitation, est activé et produit de la dopamine, activant l'accumbens nucleus ; le cervelet et le ganglion basal analysent le rythme et le mètre, et mènent au mouvement²¹⁸. Dans le cas précis du rythme, les recherches montrent que l'écoute stimule des régions motrices du cerveau. Le traitement audio-moteur du rythme engage des régions prémotrices distinctes, chacune sensible à différents aspects de couplage et

²¹⁰ Cf. la revue de question in HODGES, Donald A., "Bodily responses to music", *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford University Press, 2009, p. 121-129.

²¹¹ Par exemple, taper sur un rythme visuel est plus efficacement interrompu ou perturbé par une distraction auditive que vice versa.

²¹² Ces études ont été menées dans le but de mettre en évidence le couplage étroit audition-motricité dans le cas où les sons étaient significatifs pour le système moteur.

²¹³ Incluant le cortex prémoteur, des aires motrices et le cervelet.

²¹⁴ Quand on écoute des rythmes sans imaginer ou anticiper de mouvements synchrones.

²¹⁵ BAUMANN, Simon *et al.*, "A network for audio-motor coordination in skilled pianists and non-musicians", *Brain Research*, 1161, 2007, p. 65-78. THAUT, Michael H., "Neural Basis of Rhythmic Timing Networks in the Human Brain", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 2003, p. 364-373. THAUT, Michael *et al.*, "The Connection between Rhythmicity and Brain Function", *Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 18(2), 1999, p. 101-108.

²¹⁶ TECCHIO, Franca *et al.*, "Conscious and preconscious adaptation to rhythmic auditory stimuli: a magnetoencephalographic study of human brain responses", *Exp Brain Res*, 135, 2000, p. 222-230.

²¹⁷ NELISSEN, Koen *et al.*, "Observing others: multiple action representation in the frontal lobe", *Science*, 310(5746), 2005, p. 332-336. RIZZOLATTI, Giacomo *et al.*, "Premotor cortex and the recognition of motor actions", *Cognition Brain Research*, (3), 1996, p. 131-141.

²¹⁸ MENON, Vinod and LEVITIN, Daniel J., "The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system", *Neuroimage*, 28(1), 2005, p. 175-184.

découplage de la perception-action²¹⁹. Ainsi, l'aire motrice supplémentaire (SMA) répond à la nature séquentielle de stimuli temporels rythmiques pendant une écoute passive tandis que le cortex prémoteur (PMC) est un nœud important pour les interactions son-mouvement pendant les comportements complexes comme l'exécution musicale et peut partiellement expliquer l'irrésistible envie de frapper sur la pulsation durant l'écoute musicale²²⁰.

Suivant ces données, les interactions entre aires auditives et motrices sont impliquées dans la perception du rythme. Diverses régions du cerveau sont impliquées même lorsque l'auditeur ne bouge pas. Sans mouvement, l'écoute musicale active des aires qui ne sont pas auditives. Il y aurait donc une représentation sensori-motrice du rythme en l'absence de tout mouvement moteur. Ceci laisse supposer que la perception des *mouvements* rythmiques pourrait n'être pas métaphorique mais impliquer les mêmes parties du système des neurones miroirs et de ses connexions émotionnelles²²¹ que la perception ordinaire du mouvement.

1.2.2.3 Métaphore conceptuelle incarnée du temps par l'espace

Selon M. Johnson et S. Larson, l'analyse du concept de *mouvement* dans la musique repose en partie sur notre conceptualisation métaphorique incarnée du temps par l'espace²²². Considérant ce *mouvement* comme un *concept expérientiel*, ils intègrent l'expérience corporelle de l'auditeur dans la conception du *mouvement* musical.

Cette vision expérientielle de la cognition humaine, développée²²³ en 1999 par le linguiste G. Lakoff et le même philosophe M. Johnson, est contemporaine et concordante avec la théorie générale de l'*enaction*. Ces auteurs postulent une inséparabilité des catégories, des concepts et des expériences et proposent le concept de *métaphore incarnée*, une

²¹⁹ Le Cortex PreMoteur (PMC) ventral est requis seulement quand les sujets écoutent avec anticipation et frappent en écoutant les rythmes. Le PMC dorsal est également engagé pendant la synchronisation de mouvement ; il est responsable de fonctions d'un ordre supérieur de stimuli rythmiques comme l'organisation métrique. Plus intéressant encore, les régions motrices telles le Mid PMC, SMA (Aire Motrice Supplémentaire) et le lobe VI du cervelet s'activent pendant l'écoute passive de la musique, i.e. sans intention de la reproduire. (Le Mid PMC répond soit parce que l'on a appris depuis l'enfance à associer sons et mouvements, ce qui implique que notre cerveau est prêt à agir quand on écoute de la musique, qu'on ait consciemment décidé de bouger ou non, soit parce que le mid PMC a une activité neurale conduite par des propriétés plus basiques de stimulus auditif).

²²⁰ CHEN, Joyce L., PENHUNE, Virginia B. and ZATORRE, Robert J., "Moving on Time : Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20 (2), 2008, p. 226-239.

²²¹ BECKER, Judith, « L'action-dans-le-monde. Emotion musicale, mouvement musical et neurones miroirs », *Cahiers d'Ethnomusicologie*, 23/2010, p. 29-52.

²²² JOHNSON, Mark L. and LARSON, Steve, " 'Something in the Way She Moves' - Metaphors of Musical Motion", *Metaphor and symbol*, 18(2), 2003, p. 63-84.

²²³ LAKOFF, George and JOHNSON, Mark L., *Les métaphores dans la vie quotidienne*, Paris, Les Editions de Minuit, 1986, 254 p.

Idem, *Philosophy in the Flesh, The embodied mind and its challenge to Western thought*, New York, Basic Books, 1999.

métaphore conceptuelle bâtie sur l'expérience corporelle. La thèse majeure de cette théorie cognitive de la métaphore est que nous avons une compréhension expérientielle des concepts d'objet, d'événement et d'activité, par le biais de la métaphore incarnée. L'hypothèse est que la compréhension concerne des domaines entiers d'expérience et non des concepts isolés²²⁴. Cette théorie expérientielle de la définition met en œuvre une conception nouvelle de ce qui doit être défini, les *espèces naturelles d'expérience*²²⁵, et de ce qui permet de définir, les métaphores. L'idée de conceptualisation incarnée s'est développée en traitant notamment de la compréhension métaphorique du temps²²⁶. Le concept de temps correspond à une espèce naturelle d'expérience. L'espace est le domaine métaphorique source, sur la base duquel nous forgeons notre conception du temps. Ces données sur la conceptualisation métaphorique incarnée du temps ont ensuite été intégrées par M. Johnson et S. Larson à la conception du *mouvement* dans la musique.

- **« Le temps spatial », métaphore conceptuelle incarnée du temps**

G. Lakoff et M. Johnson considèrent que nous faisons « l'expérience » du temps. Cette expérience est toujours relative à notre expérience réelle des événements et dépend de notre conceptualisation incarnée en termes d'événements.

« La notion d'« expérience » est à entendre dans un sens très riche et large qui implique des dimensions perceptives basales, des programmes moteurs, des dimensions émotionnelles, historiques, sociales et linguistiques. »²²⁷

Le concept de temps²²⁸ correspond à une espèce naturelle d'expérience : il n'est pas défini uniquement par rapport à ses propriétés inhérentes mais principalement en termes de propriétés interactionnelles. Le temps est compris en termes métaphoriques car très peu de notre compréhension du temps est purement temporelle et il nous est impossible de conceptualiser le temps sans métaphore²²⁹. La métaphore²³⁰ est un moyen systématique de

²²⁴ Les concepts individuels sont définis par le rôle qu'ils jouent dans les espèces naturelles d'expérience.

²²⁵ Objet de la définition métaphorique, un domaine fondamental d'expérience est un ensemble structuré à l'intérieur de notre expérience. Il est conceptualisé par une *gestalt* expérientielle. Ces *gestalts* sont fondamentales car elles caractérisent des tous structurés dans les expériences humaines courantes. Elles représentent des organisations cohérentes de nos expériences en termes de dimensions « naturelles » (parties, étapes, causes, *etc.*), au sens où elles sont le produit de nos corps, de nos interactions avec notre environnement physique et avec d'autres hommes. Certaines espèces naturelles d'expérience peuvent être universelles, d'autres varient d'une culture à l'autre.

²²⁶ LAKOFF, George and JOHNSON, Mark L., *Philosophy in the Flesh*, p. 139.

²²⁷ JOHNSON, Mark L., *The body in the Mind, The Bodily Basis of Meaning, Imagination and Reason*, Chicago, The University of Chicago, 1987, p. xvi.

²²⁸ Comme d'autres concepts tels que les Idées, la Compréhension, les Discussions, le Travail, l'Amour, le Bonheur, la Santé, l'Autorité, la Moralité, *etc.*

²²⁹ Chacune venant accompagnée de sa propre métaphysique conceptuelle qui pose d'importantes questions philosophiques. Par exemple, qu'est-ce que le temps « en soi » ?

²³⁰ Elle consiste souvent à utiliser des termes de domaines concrets et à les transposer vers des domaines plus abstraits pour lesquels il n'existe pas de terme adéquat. Outre l'économie de vocabulaire qui en découle, elle aide

mieux définir ce concept et de changer son domaine d'application²³¹. Elle permet d'établir des correspondances entre un domaine source et un domaine cible :

« Dans la plupart des cas, le domaine source est le plus 'concret' des deux, impliquant un matériel visible et tangible, tandis que le domaine cible est plus 'abstrait', impliquant souvent des 'entités' ou phénomènes invisibles et intangibles. »²³²

L'espace est notre base de compréhension métaphorique du temps : nous établissons des correspondances entre l'espace, domaine source, et le temps, domaine cible. Nous concevons le « passage » du temps par la métaphore générale du mouvement dans l'espace²³³, plus précisément avec deux métaphores, « le temps en mouvement »²³⁴ où l'observateur est immobile et le temps, en déplacement, et « l'observateur en mouvement » ou « paysage de temps »²³⁵, où cette fois, l'observateur est mobile et le temps, stationnaire.

- « Le temps en mouvement » : le changement temporel peut être compris comme une sorte de mouvement dans l'espace²³⁶. Dans ce schéma spatial, l'observateur, immobile, fait face à une direction fixe. Il se situe dans le présent et « les temps » sont conceptualisés comme des objets se déplaçant et passant devant lui. Le mouvement dans l'espace est le domaine source à partir duquel éléments, structures et relations sont projetées dans le domaine cible, le changement temporel, que nous comprenons via la correspondance espace-temps.

Espace	→	Temps
Objets		Temps
Mouvement des objets au-delà de l'observateur		Le « passage » du temps
Emplacement de l'observateur		Le présent
Espace devant l'observateur		Le futur
Espace derrière l'observateur		Le passé

Tableau 4: Métaphore du "temps en mouvement": de « l'espace » au « temps »

l'homme à mieux exprimer par des termes concrets des concepts complexes et abstraits (les sentiments, la conscience, *etc.*).

²³¹ Elle consiste en la projection de structure d'un domaine à un autre.

²³² Traduction de l'auteure. 'In most cases the source domain is the more 'concrete' of the two, involving visible and tangible material, while the target domain is more 'abstract', commonly involving invisible and intangible 'entities' or phenomena.', COX, Arnie, 'Review of Steve Larson, *Musical Forces : Motion, Metaphor, and Meaning in Music* (Bloomington, Indiana University Press, 2012), *Society for Music Theory*, Vol 19, Number 1, March 2013, p. 3.

²³³ Il faut noter que dans le système conceptuel de G. Lakoff et M. Johnson le mouvement n'est pas compris de la même manière qu'en physique où l'on considère le temps comme un concept plus primitif que celui de mouvement, lui-même défini comme un changement de localisation dans le temps. Or, sur le plan cognitif, la situation est inversée : le mouvement est premier et le temps est métaphoriquement conceptualisé en termes de mouvement. Autrement dit, en physique, le temps est la primitive du mouvement ; en cognition, il en est la dérivée.

²³⁴ *The "Moving Times" Metaphor*, in JOHNSON, Mark L. and LARSON, Steve, *op. cit.*, 2003, p. 67.

²³⁵ *The "Moving Observer" Metaphor or "Time's Landscape" Metaphor*, *Ibidem*.

²³⁶ Nous parlons alors du temps comme « volant », « glissant », « se précipitant vers nous ».

Cette métaphore a une logique interne rigoureuse. Par l'imagination, on projette l'avant et l'arrière sur des objets en mouvement et on conceptualise les objets en mouvement comme faisant face à la direction de leur mouvement²³⁷. Via la correspondance du temps comme objet en mouvement, 'les' temps font face à l'observateur vers lequel ils se déplacent. Puisque le mouvement métaphorique de temps est orienté vers l'observateur, le temps B précède le temps C et peut suivre le temps A. Comme le temps présent est au même endroit que l'observateur, on en parle de façon redondante comme « ici *et* maintenant ».

- « L'observateur en mouvement » ou « paysage de temps » : ce second système métaphorique implique un schéma spatial différent. Cette fois, l'observateur se déplace dans un paysage constitué de temps considérés comme des points ou des régions.

Espace	→	Temps
Emplacements sur le chemin de l'observateur		Temps
Mouvement de l'observateur		« Passage » du temps
Distance effectuée par l'observateur		Quantité de temps « passé »
Emplacement de l'observateur		Le présent
Espace devant l'observateur		Le futur
Espace derrière l'observateur		Le passé

Tableau 5: Métaphore de "l'observateur en mouvement": de « l'espace » au « temps »

Bien que leur logique soit différente, ces deux vastes systèmes de métaphores définissent en grande partie notre spatialisation du temps. Ils jouent un rôle central dans notre compréhension du *mouvement* musical car celui-ci, comme le mouvement physique, se produit au fil du temps. Ces deux conceptualisations métaphoriques du temps sont donc intégrées dans les trois métaphores de base du *mouvement* musical.

- **Le mouvement physique, métaphore conceptuelle incarnée du *mouvement* musical**

Selon M. Johnson et S. Larson, le concept de *mouvement* dans la musique est particulièrement pertinent pour

« commencer à comprendre comment tout sens émerge dans la chair, le sang et les os de notre expérience incarnée. »²³⁸

Ils constatent que la compréhension, la conceptualisation de l'expérience musicale et donc le discours sur la musique²³⁹ sont largement structurés par des métaphores conceptuelles

²³⁷ Par exemple, l'avant d'un véhicule est orienté dans la direction de son mouvement.

²³⁸ Traduction de l'auteur. "Thinking about how music moves us is not going to explain everything we need to know about language, but it is an excellent place to begin to understand how all meaning emerges in the flesh, blood, and bone of our embodied experience." , *ibid.*, p. 81.

profondes, elles-mêmes basées sur l'expérience corporelle. Sans ces formulations conceptuelles métaphoriques et leurs logiques spatiales et corporelles, il ne pourrait y avoir d'expérience solide de la signification musicale. La manière dont nous expérimentons la musique dépend de comment nous la comprenons, et notre compréhension est intimement liée à notre incarnation²⁴⁰. Compréhension et conceptualisation de la musique ne sont pas clairement séparables de l'expérience que nous en avons. Cette expérience ne vient pas toujours avant la conceptualisation qui est elle-même incarnée. La compréhension est tissée *dans* la fabrique de l'expérience ; elle est le moyen d'être *dans* l'expérience et d'en faire sens.

Notre conceptualisation, notre discours et notre expérience du *mouvement* dans la musique dépendent de la structure et de la logique de métaphores spatiales. Le mouvement dans la musique est expérimenté grâce à notre expérience et à notre compréhension incarnée du mouvement physique. Des métaphores-clefs bâties sur trois expériences corporelles de base du mouvement physique²⁴¹ permettent de définir ce qui bouge dans la musique, où et comment. Nous pouvons expérimenter et connaître le mouvement physique de trois manières différentes : en voyant²⁴² des objets bouger ; en bougeant notre corps ; en sentant notre corps mu par des forces. Ces espèces naturelles d'expérience, non conceptuelles et préreflexives, donnent lieu à un large corpus de connaissances sur le mouvement. Ces expériences de base du mouvement physique donnent lieu à trois façons principales de conceptualiser le *mouvement* musical : suivant la logique de la métaphore de « la musique en mouvement », du « paysage musical » et de « la force motrice »²⁴³. La logique du mouvement physique construit la logique du *mouvement* musical : la connaissance du domaine source, le mouvement physique, est transportée via des correspondances métaphoriques systématiques vers le domaine cible, le *mouvement* musical.

- « La musique en mouvement »²⁴⁴ : la correspondance entre le mouvement physique d'un objet et le *mouvement* de la musique représente l'un des moyens le plus influent de penser le *mouvement* musical. Pour tester cette hypothèse de logique métaphorique du *mouvement* musical fondée sur la logique spatiale du mouvement physique, les auteurs analysent comment trois des plus importants types d'inférences tirées du mouvement physique sont présents dans notre compréhension du *mouvement* musical. Le mouvement

²³⁹ L'analyse de M. Johnson et S. Larson porte sur la musique tonale ouest-européenne de Bach à Brahms et sur quelques pièces contemporaines de jazz et de musique populaire.

²⁴⁰ « *Embodiment* ».

²⁴¹ Il est en effet difficile d'imaginer comment il pourrait y avoir mouvement musical sans mouvement physique.

²⁴² Pour la plupart des gens, la perception du mouvement des objets est fondée principalement sur la vision. Cependant, d'autres modalités sensorielles comme le système auditif donnent d'importantes informations sur le mouvement. Pour les aveugles, par exemple, les signaux auditifs jouent un rôle critique dans la détermination de la direction, de la vitesse et de la distance des objets en mouvement.

²⁴³ « *Moving Music* », « *Musical Landscape* », « *Moving Force* ».

²⁴⁴ *The "Moving Music" Metaphor, ibid.*, p. 69.

physique requiert un objet qui se déplace ; il prend place le long d'une trajectoire ; il a une manière, une allure, un style. Le *mouvement* musical nécessite des « objets musicaux » ; il prend place dans des segments appelés passages ; il a une allure, un tempo. D'autres inférences logiques du mouvement physique sont importées dans notre expérience de la musique. Par exemple, nous décrivons le mouvement métaphorique d'un événement musical comme « déplacement vers nous puis devant nous ». En fonction de cette orientation qui intègre la métaphore du « temps en mouvement », un événement musical est conceptualisé comme un objet se déplaçant d'avant en arrière par rapport à un auditeur statique. Un événement musical futur existe dans un espace musical face à l'auditeur et se déplace vers lui. Quand l'événement atteint l'observateur immobile, il est entendu car il existe dans le moment présent. Une fois l'événement musical apparu, il existe dans la mémoire, dans le passé, métaphoriquement dans un espace derrière l'observateur. La musique étant un art temporel et sonore, la métaphore de « la musique en mouvement » est un ensemble complexe de correspondances qui combine la notion de contours physiques de mouvement avec la métaphore de « temps en mouvement » :

Mouvement physique	→	Musique
Objet physique		Événement musical
Mouvement physique		Mouvement musical
Vitesse de mouvement		Tempo
Emplacement de l'observateur		Événement musical présent
Objets devant l'observateur		Événements musicaux futurs
Objets derrière l'observateur		Événements musicaux passés
Trajectoire de mouvement		Passage musical
Point de départ et fin du mouvement		Début/fin du passage
Arrêt temporaire du mouvement		Repos, césure
Reprise du mouvement sur le même trajet		Récapitulation, répétition
Forces physiques ²⁴⁵		« Forces musicales » ²⁴⁶

Tableau 6: Métaphore de "la musique en mouvement": du « mouvement physique » à la « musique »

- « Le paysage musical »²⁴⁷ : une autre expérience du mouvement physique, la capacité à bouger le corps dans un paysage²⁴⁸, constitue la base de la deuxième conception majeure d'une œuvre musicale alors considérée comme un paysage tridimensionnel à travers lequel l'auditeur se déplace. Le morceau entendu définit le chemin sur lequel il voyage. Tout comme dans la précédente métaphore du « paysage de temps » qui considère le moment

²⁴⁵ Par exemple, l'inertie, la gravité, le magnétisme.

²⁴⁶ *Ibid.*

²⁴⁷ *The "Musical Landscape" Metaphor, ibid., p. 71-72.*

²⁴⁸ Nous avons l'expérience de bouger d'un point de départ et par une série de pas intermédiaires jusqu'à une destination.

présent comme le lieu où se situe l'observateur en mouvement, dans la musique, le moment présent est le point particulier du morceau où se situe l'auditeur. En d'autres termes, « où » le voyageur est dans le paysage musical revient à « ce que » l'auditeur entend à ce moment précis. En conséquence, ce qui a été entendu est conceptualisé comme des points dans le paysage derrière l'auditeur-voyageur et ce qui n'a pas encore été entendu constitue de futurs points sur le trajet. Les événements musicaux sont situés dans un paysage musical suivant la correspondance conceptuelle suivante :

Espace physique	→	Espace musical
Voyageur		Auditeur
Trajet parcouru		Pièce musicale
Emplacement présent du voyageur		Événement musical présent
Trajet déjà parcouru		Musique déjà entendue
Trajet restant à parcourir		Musique inouïe
Segments du trajet		Éléments de la forme musicale
Vitesse de mouvement du voyageur		Tempo

Tableau 7: Métaphore du "paysage musical" : de « l'espace physique » à « l'espace musical »

Dans un paysage musical, on peut adopter deux points de vue. Le premier est celui du participant, l'auditeur, qui se déplace à travers un paysage, métaphoriquement « dans » la pièce musicale. La répétition trace à nouveau la même trajectoire de mouvement mais toujours à un moment différent de l'événement musical original. Cette expérience est si puissante qu'elle peut réellement faire sentir ce qui a été antérieurement expérimenté. On peut adopter le point de vue d'un observateur du trajet que définit une œuvre particulière à travers un paysage musical. C'est le plus souvent la perspective des musiciens qui analysent une partition comme une représentation métaphorique du trajet imaginaire à travers un espace musical abstrait. Prétendument « objective », elle permet de traiter l'œuvre musicale dans son entier, comme un objet abstrait et d'étudier des propriétés qui peuvent être observées, mesurées et analysées selon une variété de points de vue.

- « La force motrice »²⁴⁹ : par cette troisième voie d'expérimentation du mouvement physique, nous apprenons que le mouvement du corps ou des objets est influencé par des forces comme la gravité, le magnétisme et l'inertie. En musique, métaphoriquement, la force est la musique elle-même. Si la musique est une force, alors elle a des effets de causalité. Les forces musicales nous poussent souvent dans différentes directions : l'inertie musicale est la tendance d'un pattern à continuer de la même manière, la gravité musicale, la tendance d'une mélodie à descendre, et le magnétisme, la tendance d'une hauteur instable à se résoudre à la

²⁴⁹ The 'Music as Moving Force' Metaphor, *ibid.*, p. 75.

hauteur stable la plus proche. La musique déplace l'auditeur d'un lieu, un état émotionnel, à un autre. Les causes de ces changements d'état émotionnels sont des forces métaphoriques qui déplacent une entité d'un endroit à un autre. Fondées sur cette métaphore générique de la causalité, les forces musicales sont conçues comme agissant sur l'auditeur pour le déplacer d'un état-lieu à un autre. Il peut se sentir réellement « poussé », « tiré » et généralement « mu » par la musique. La musique comme expérience « de mouvement » peut « transporter », « renverser », « soulever », etc. le long du trajet du mouvement métaphorique.

Mouvement physique	→	Expérience musicale
Lieu		Etat émotionnel
Mouvement de lieu en lieu		Changement d'état émotionnel
Forces physiques		Causes
Déplacement forcé		Causalité
Intensité de la force		Intensité de l'impact musical

Tableau 8: Métaphore de la "force motrice": du « mouvement physique » à « l'expérience musicale »

Ces trois voies principales d'expérimentation du mouvement physique sur lesquelles sont construites trois des plus importantes métaphores du *mouvement* musical n'en épuisent pas notre expérience, notre connaissance, notre conceptualisation. D'autres métaphores et métonymies sont des moyens supplémentaires d'expérimenter le *mouvement* et les liens de causalité. Ainsi, le scénario métaphorique dans lequel « *je bouge* » à travers le paysage musical peut être combiné avec la métonymie de base « *l'interprète est la musique jouée* ». L'interprète crée alors le trajet musical suivant son propre déplacement. Il reste également une dimension très importante qui implique notre conception métaphorique du pouvoir de la musique : dans les métaphores où un agent se déplace ou est déplacé, on peut lui attribuer des intentions et des buts, et donc les attribuer à la musique, alors expérimentée et comprise comme téléologique²⁵⁰. Finalement, les auteurs prônent une ontologie pluraliste du *mouvement* musical : puisque rien ne prouve qu'il y ait une vue simple et unifiée de l'expérience humaine, il n'y a pas de notion unique et univoque du *mouvement* musical, pas plus qu'il n'y en a de la causalité. Les diverses structurations métaphoriques d'un concept²⁵¹, si contradictoires²⁵² soient-elles, fournissent des logiques différentes, nécessaires pour

²⁵⁰ Comme allant quelque part, tentant de résoudre, dépassant un obstacle, voulant aller à la dominante, *etc.*

²⁵¹ Ce qui est vrai pour le mouvement musical l'est également pour diverses conceptions « incompatibles » du temps et, plus généralement, d'une vaste série de concepts abstraits (la causalité, la moralité, l'esprit, l'amour, la pensée, la connaissance, *etc.*).

²⁵² Par exemple, dans la métaphore de « musique en mouvement », la musique bouge et l'auditeur est immobile alors que dans la métaphore du « paysage musical », le paysage est statique et l'auditeur, en mouvement. Dans le premier cas, les événements musicaux sont des objets qui bougent, dans le second, il y a des lieux dans un paysage musical immobile. Par conséquent, deux ontologies différentes et incompatibles sous-tendent ces deux métaphores.

comprendre la richesse et la complexité de nos expériences. Si le fondement des métaphores dans l'expérience corporelle suggère l'existence de structures universelles de la perception musicale et de mouvement pour comprendre la musique, l'existence de multiples métaphores pour un même concept pose la question des différences et des variations culturelles. Puisque diverses interprétations de l'expérience corporelle sont possibles, la métaphore devient un important moyen d'exploration des variations culturelles et historiques des diverses conceptions de l'expérience musicale qui existent dans le monde.

1.3 Le *mouvement* du rythme selon le rythme comme forme dynamique

Le rythme a été envisagé comme une forme et le *mouvement* musical, comme une idée métaphorique se formant chez l'auditeur. Pourtant, la conception du rythme comme forme sonore temporelle n'en demeure pas moins difficile. Comme le remarque J. M. Chouvel,

« Qu'est-ce donc [...] que la *forme* dans le *temps* ? Cette notion, dont la terminologie et les outils de descriptions appartiennent au domaine de l'espace peut-elle se transposer dans le domaine du temps ? »²⁵³

Le concept de *forme dynamique* permet de considérer l'évolution de toute forme temporelle et en particulier le flux de la forme musicale. Il paraît donc apte à enrichir l'approche théorique du rythme et de son *mouvement*. Les conceptions contemporaines de la forme dynamique s'enracinent dans des réflexions philosophiques temporellement éloignées, notamment chez de grands philosophes grecs anciens, en particulier Aristoxène de Tarente, auteur d'une première véritable théorie du rythme dans l'histoire de la musique. Un bref rappel de ces points de vue sur le rythme permettra de situer la célèbre définition du rythme de Platon « L'ordre du mouvement » mais également de considérer les notions de forme et de formation, de mouvement et de corporéité du rythme, au cœur de nos questions musicologiques. Ceci nous mènera à envisager le rythme comme une *Gestaltung*, une forme qui intègre dans sa définition la dynamique du flux rythmique.

²⁵³ CHOUVEL, Jean-Marc, *Analyse musicale. Sémiologie et cognition des formes temporelles*, Paris, L'Harmattan, 2006, p. 13.

1.3.1 Forme et flux du rythme par quelques philosophes grecs antiques

Du rythme grec, on connaît surtout la définition de Platon « L'ordre du mouvement »²⁵⁴, *i.e.* l'ordre que manifeste le corps en mouvement dans la danse. Mais, selon P. Sauvanet, on oublie parfois le mouvement au bénéfice de l'ordre, négligeant le fait que le terme rythme présente une polysémie originelle. Le philosophe étudie l'évolution du registre sémantique du rythme dans l'histoire de la philosophie grecque²⁵⁵ et montre la richesse et la complexité originelle de ce concept qui se caractérise par l'absence d'un sens absolument fixe : historiquement, *rhuthmos* combine plusieurs significations qui oscillent entre la forme, *skhèma*, et le flux, *rhéo*. Il met en tension structure et mouvement, ordre et désordre :

« Ce qui en Grèce eut pour nom *rhuthmos* avait donc bien deux visages : un visage 'apollinien', celui de la forme (et de la 'formation'), de l'ordre, de la mesure et de la raison – et un visage 'dionysiaque', celui du flux, du désordre, de l'orgie et du corps. »²⁵⁶

1.3.1.1 Du concept philosophique de rythme ...

- **Le rythme, forme spatiale temporalisée**

Le rythme a d'abord eu un sens très général d'arrêt, de contour, voire de caractère ou de style. Chez Archiloque (712-664) et ses contemporains, ce terme ne caractérise pas précisément la musique ou la danse mais, de façon plus générale, la forme ou la figure dans leur relation au temps, à travers deux axes majeurs de signification, l'ordre et le mouvement. Le rythme se situe au carrefour de l'espace et du temps ; il est en quelque sorte une « forme spatiale temporalisée », *i.e.* la forme que prend quelque chose dans le temps, la forme telle qu'elle est *transformée* par le temps. Il est ce qui impose des liens aux mouvements et ce qui enserme le flux des choses. En un sens plus précis, le rythme est un arrêt entre des limites qui bouclent un tracé :

« Lorsque les Grecs parlaient du rythme d'un monument ou d'une statue, il ne s'agissait pas d'une métaphore empruntée au langage musical ; et l'idée originelle qui présidait la découverte grecque du rythme dans la danse et dans la musique n'est certes pas le *flux*, mais *l'arrêt*, c'est-à-dire la ferme limitation apportée aux mouvements. »²⁵⁷

C'est ainsi que les atomistes emploieront *rhuthmos* pour désigner le dessin, le contour des composés d'atomes.

²⁵⁴ *Kinèseos taxis*, Lois, 665 a.

²⁵⁵ SAUVANET, Pierre, *Le rythme grec, d'Héraclite à Aristote*, Paris, PUF, 1999.

²⁵⁶ *Ibidem*, p. 126.

²⁵⁷ W. Jaeger, in *ibid.*, p. 12.

- **Le rythme, forme en formation**

La véritable naissance du concept de rythme en philosophie daterait de Démocrite (460-370) et des atomistes. Si *skhèma* désigne une forme fixe, *rhuthmos* semble désigner la forme *en tant qu'elle est en mouvement*. Dans ce sens, le rythme est une forme qui s'ordonne dans un mouvement, une configuration changeante, une forme fluide, en formation²⁵⁸.

- **Le rythme, ordre du mouvement humain**

Avec Platon (env. 428-348), le rythme prend une signification esthétique et éthique. Dans le *kinèseos taxis*²⁵⁹ des *Lois*, la question des rythmes est abordée sous l'angle de la culture et de l'éducation par la musique²⁶⁰. Celle-ci et, a fortiori, le rythme ne sont jamais étudiés en eux-mêmes pour eux-mêmes. L'esthétique est subordonnée à l'éthique. Platon emploie *rhuthmos* pour désigner l'ordre d'un mouvement humain judicieusement contrôlé, l'homme disposant à la naissance de deux sortes de dons : le premier, commun à tous les animaux, est la capacité même de se mouvoir, de gesticuler, de jouer ; le second, propre aux hommes, est la capacité de se mouvoir, de gestualiser et de jouer *en rythme*.

- **Le rythme, plaisir, *mimèsis* et mouvement corporel**

Avec Aristote (env. 384-322), le rythme prend une signification anthropologique. Le terme *rhuthmos*²⁶¹ oblige à penser toute la complexité du rapport de l'homme grec au monde. La notion de plaisir est attachée au rythme et deux causes se rejoignent, l'une, statique et intellectuelle, l'autre, dynamique et corporelle.

« Un rythme nous plaît parce qu'il a un nombre familier et régulier, et qu'il nous entraîne (*kinein*) d'une manière ordonnée. »²⁶²

Par le nombre, le rythme est comme un appel du terme inférieur vers le terme supérieur. Par le mouvement ordonné, il entraîne, il émeut au sens où il met tout notre être en mouvement. Une autre cause de plaisir consiste à garder le rythme à plusieurs. Ce faisant, il réalise une communauté par la parole, le son et le geste. Une de ses caractéristiques anthropologiques est de produire un temps propre et de construire un temps commun. Concernant la question de l'imitation, Aristote énumère les différentes espèces de la *mimèsis* puis opère une triple distinction entre objets, moyens et modes de la *mimèsis* : que

²⁵⁸ La nuance entre forme et formation est celle-là même qui existe entre *skhèma* et *rhuthmos*, en grec, entre *Gestalt* et *Gestaltung*, en allemand.

²⁵⁹ *Kinèseos taxis*, *Lois*, 665 a, « ordre du mouvement » ou « ordre dans le mouvement », est le plus long texte de l'œuvre de Platon consacré aux rythmes musicaux.

²⁶⁰ Pour les Grecs, la musique n'est pas un art parmi d'autres ; elle est l'un des piliers de l'éducation.

²⁶¹ Dans la 19^e section des *Problèmes*, consacrée à la musique.

²⁶² ARISTOTE, *Problèmes*, XIX, 38, 920 b 29, in *ibid.*, p. 100.

représentons-nous, avec quoi et comment ? Il dégage trois moyens principaux, combinés ou non, le rythme, le langage, la mélodie. L'origine même de la mimésis remontrait aux rythmes et aux figures de danse. A la différence d'autres sensations esthétiques, le rythme comme reflet d'un état d'âme passe par le mouvement. Ce qu'il y a d'éthique dans le rythme esthétique, c'est le mouvement corporel qui le confère, par analogie avec l'acte. Le rythme émeut, met en mouvement d'une manière ordonnée et même parfois désordonnée.

« Le rythme pique et mouvemente et [...] il entraîne, il rassemble, il figure (dans la danse), il peut même exister seul, à la différence de la mélodie. »²⁶³

Tout se passe donc comme si, dans la *mimésis*, le mouvement reprenait ses droits sur l'ordre, la *kinésis* sur la *taxis*.

1.3.1.2 ... Au concept musicologique de rythme

L'évolution du sens de *rhuthmos* ne s'approfondit pas mais se réduit progressivement. Avec Aristoxène de Tarente (env. 340- ?), la dernière étape de cette évolution donne au *rhuthmos* grec son sens musical et poétique.

« A. de Tarente est l'auteur des plus anciens traités musicaux de la Grèce antique : c'est donc lui qui fonde la première véritable théorie du rythme dans l'histoire de la musique, musique qu'il divise en 'éléments harmoniques' et en 'éléments rythmiques'. Et c'est également lui qui, en technicisant la notion, confère son sens actuel au mot 'rythme', du moins son sens musical. »²⁶⁴

Rhuthmos prend une place esthétique au sein des différentes pratiques artistiques.

« Le rythme semble donc suspendre son lien avec l'*ethos*, pour n'être plus qu'une forme particulière de l'espace et du temps : le *rhuthmos* serait cet x commun à tous les arts alors en vigueur en Grèce, la marque même du fait esthétique. »²⁶⁵

Il y a donc le rythme, dénominateur commun, et l'objet multiple auquel il s'applique, la poésie, la danse, la musique. Aristoxène, fondateur de la première théorie du rythme dans l'histoire de la musique, considère que

« [...] le *rhuthmos* est, intrinsèquement et indissociablement, ordonnance et passage, détermination et apparition, *forme* et *flux*. [...] Aristoxène pensait musicalement la double appartenance du rythme au formel et au fluide, au schème et à la rhèse. »²⁶⁶

Dans les *Eléments rythmiques*²⁶⁷, le rythme est pensé sous l'aspect d'une série de durées²⁶⁸. Plus précisément, il est conçu comme un ordre déterminé – ou délimité – de temps,

²⁶³ *Ibid.*, p. 107.

²⁶⁴ *Ibid.*, p. 113.

²⁶⁵ *Ibid.*, p. 121.

²⁶⁶ *Id.*

apparaissant donc d'abord du côté de la forme et non du flux, par le « contour » qu'il doit donner au temps divisé. Il consiste en une *articulation* correcte des différents « temps premiers », eux-mêmes combinés selon différents mètres. Au départ, le temps continu – *chronos* – est arythmique, unique, pensé sur un modèle linéaire sans événement. Pour être rythme, *chronos* doit se diviser en plusieurs *chronoi*, par un jeu d'intervalles articulés entre eux, de pleins et de vides, de coups et de silences. Les silences sont des éléments de la composition rythmique au même titre que les sons dont ils occupent le temps. La « rythmopée », composition musicale du seul point de vue rythmique, résulte de cet arrangement particulier.

Le rythme est distingué du substrat « rythmable », capable d'être rythmé. Cette distinction entre la forme propre du rythme et la matière sur laquelle il opère est décisive. Aristoxène crée le néologisme *rhuthmizomenon* pour désigner le substrat matériel rythmique, l'objet dans lequel se réalise le rythme, qu'il soit de l'ordre du son, de la parole ou du geste. Afin de fonder cette conception du rythme-forme, il prend comme base trois unités élémentaires et indivisibles communes aux différents arts de la Grèce antique, le « son », la « syllabe » et le « signal corporel ».

« Ces trois événements ont le même statut d'un 'insécable' pris dans le réseau rythmique en place ou se mettant rythmiquement en place. »²⁶⁹

Le « rythmique » des éléments n'est pas seulement la proportionnalité des temps premiers appliqués à un substrat rythmable, condition nécessaire mais non suffisante. L'analyse de ces unités suppose un moment statique clairement identifiable comme tel, afin que la raison puisse reconnaître le type rythmique entendu. Mais ce moment statique en lui-même n'est pas rythmique :

« Le rythme naît plus subtilement des *transitions* entre ces différents moments, entre ces positions, sons ou syllabes. Ces transitions sont quantitativement trop courtes pour pouvoir être perçues en tant que telles, mais elles ont une forme d'existence qualitative qui assurent le mouvement d'ensemble, la dynamique des différents moments. »²⁷⁰

Ce point marque la nuance de la forme par le flux : la variété et le changement – *metabolè* – sont une condition du rythmique. Plus exactement, le bon usage du variable est recommandé par rapport au fixe, et ce dans tous les domaines de la *mousikè*. La fixité des rapports de durée n'est là que pour permettre aux temps intermédiaires de donner continuité à la discontinuité première, qualité seconde à la seule quantité, souplesse et vie à ce qui ne serait que carrure.

²⁶⁷ Dont il ne reste que quelques fragments.

²⁶⁸ A l'image de la gamme qui, dans les *Eléments harmoniques*, est une série d'intervalles.

²⁶⁹ *Ibid.*, p. 117.

²⁷⁰ *Ibid.*, p. 118.

« Il faut donc concevoir ici un autre sens de flux, à la fois postérieur et supérieur au premier : non pas le flux purement ‘matériel’ du langage parlé, *rhuthmizomenon*, mais celui de la qualité et de l’efficace rythmique, eurythmique même. Car, si le rythme analysé est nécessairement statique, l’eurythmie perçue ne saurait être simple division du temps, mais interrelation dynamique de ses différents moments. »²⁷¹

Le sens de forme relève de l’analyse, le sens de flux relève de la perception, voire de l’action propre du rythme.

On trouve donc dans les intuitions et les réflexions de grands auteurs de la Grèce antique la considération d’aspects « dynamiques » du rythme. Ces penseurs ont établi des rapports entre temps et espace, entre rythme et mouvement, et considéré le rythme comme forme et flux, comme forme sonore en *mouvement*. Au XX^e siècle, le concept de rythme a été analysé comme une *Gestalt*, une forme sonore. Considérant que toute forme est dynamique comme processus, le rythme est envisagé ici comme une *Gestaltung*, ce terme semblant mieux recouvrir l’aspect dynamique de la forme, avec l’idée de mise en forme, d’élaboration de la forme. La considération du processus dynamique agissant dans la forme sonore est une nécessité soulignée par A. Boucourechliev :

« La Gestalttheorie, centrée sur la perception, [...] aujourd’hui apparaît elle-même comme insuffisante, dans la mesure où elle ne rend pas compte ni du processus dynamique que représente toute musique, ni du mode par lequel ce processus se transmet. Il faut donc élargir considérablement le champ de la problématique et aborder la forme musicale comme formation incessante, comme la manifestation d’une ‘activité formatrice mise en jeu dans quelque musique que ce soit’, ainsi que l’écrit André Souris. »²⁷²

Le processus d’élaboration de la forme peut être éclairé par le concept de *forme dynamique* à l’œuvre dans les arts en général et dans la musique en particulier.

1.3.2 Concept de *forme dynamique* dans les arts

Le concept de *forme dynamique* est développé par S. K. Langer dans une théorie des liens entre mouvement et forme dans l’art. La philosophe s’intéresse²⁷³ aux deux métaphores les plus couramment employées dans les écrits sur l’art. L’une qualifie l’œuvre par la « vie », la « vitalité », le « vivant », l’autre, empruntée au monde de la biologie, affirme qu’une œuvre d’art doit être « organique ». ‘Création’, ‘forme’, ‘sentiment’ sont des termes communs à ses définitions de l’art :

²⁷¹ *Elementa rhythmica*, II, 2, *ibidem*, p. 119.

²⁷² BOUCOURECHLIEV, André, *Le langage musical*, Paris, Fayard, 1993, p. 65.

²⁷³ Chapitre 4 « Living form » *Problems of art*, 1957, in LANGER, Susanne K., “La forme vivante”, *Vie, Symbole, Mouvement, Susanne K. Langer et la danse*, ed. Anne Boissière et Mathieu Duplay, Lille, De l’incidence éditeur, 2012, p. 47-61.

« L'art est la création de formes symboliques du sentiment humain. »²⁷⁴

« L'art est la création de formes expressives du sentiment humain. »²⁷⁵

« L'art est (...) la création de formes expressives, perceptibles visuellement, auditivement ou même par l'imagination, qui exposent la nature du sentiment humain. »²⁷⁶

Pour parvenir à contenir du sentiment, l'œuvre d'art doit être « vivante », avoir une « vitalité artistique », se manifester en tant que « forme vivante ». La forme artistique est une projection, non une copie. L'art a ses propres lois, celles de l'expressivité, et ses propres éléments²⁷⁷, des formes créées, non des ingrédients matériels. Seul le produit – la forme expressive, l'œuvre – a des caractéristiques reliées symboliquement à celles de la vie elle-même. Au fil du temps, la philosophe déplace les problèmes relatifs à l'art et à l'émotion en direction d'un questionnement sur le mouvement, l'art relevant de phénomènes de type dynamique, incluse une dimension d'énergie. Elle présente le concept de *forme dynamique*²⁷⁸, une forme de mouvement aux qualités particulières, en prenant pour exemple l'image d'une chute d'eau :

« Sa composition matérielle change constamment ; seule la forme est permanente ; et ce qui donne forme à l'eau, si l'on peut employer ce terme, c'est son mouvement. La chute d'eau présente une forme de mouvement, ou une forme dynamique. »²⁷⁹

Elle précise l'idée de forme *dynamique* par l'examen de l'effet d'un point de couleur sur une roue qui tourne :

« Si vous mettez un point de couleur sur le bord d'une roue et que vous la faites tourner, vous voyez un cercle de couleur au lieu d'un point. C'est à nouveau la forme de mouvement de ce point – une forme purement dynamique – qui est rendue visible. »²⁸⁰

Ce point est vu comme un cercle, une ligne régulière fermée sur elle-même, qui exprime la forme du mouvement du point, une forme dynamique projetée comme une donnée visuelle fixe en apparence, une ligne circulaire. La relation entre lignes et mouvements d'objets repose sur les lois naturelles de la perception. Des mouvements rapides sont en fait vus comme des lignes immobiles. Des objets qui laissent une trace, tel un crayon, laissent une ligne réelle et permanente qui exprime le mouvement de l'objet, même si elle n'est pas physiquement une forme dynamique comme le cercle décrit par le point en rotation. Cette

²⁷⁴ 'Art is the creation of forms symbolic of human feeling.', LANGER, Susanne K., *Feeling and Form, A theory of Art*, 1953, p. 80, in AUCOIN, Michel, « Susanne Langer et le symbolisme artistique, essai de synthèse », *Recherche en éducation musicale*, p. 50, www.mus.ulaval.uca, 05/12/2013.

²⁷⁵ *Ibidem*, p. 60.

²⁷⁶ 'Art is (...) the creation of expressive forms visually, audibly, or even imaginatively perceivable forms that set forth the nature of human feeling.', in LANGER, Susanne K., *Problems of art*, 1957, p. 111.

²⁷⁷ Ils ne peuvent être comparés à des facteurs physiques.

²⁷⁸ 'Dynamic form', in Conférence 'Expressiveness', In *ibidem*, p. 18.

²⁷⁹ *Ibid.*, p. 51.

²⁸⁰ *Loc. cit.*

ligne ne connote pas la chose qui l'a faite mais seulement la directionnalité de son mouvement. Toutefois, dans l'exemple du cercle décrit par le point en rotation, cette forme 'purement dynamique' n'est pas suffisante pour qu'apparaisse ou que l'on semble percevoir la « vie » à travers un motif graphique. Qu'est-ce que cette vie ? Pour S. K. Langer, il s'agit précisément du mouvement. Pour le montrer²⁸¹, elle organise de façon inédite une analyse du motif graphique autour du mouvement : le motif est un acte ; il agit. Le fait même de cette action justifie l'idée d'un mouvement, bien que par ailleurs le motif soit fixe ou fixé. En effet, le mouvement n'est pas représenté ; il surgit ou apparaît en vertu de l'opération symbolique qui le rend possible. Cette opération constitue le motif lui-même.

« Il (le motif) est forme 'vivante'. [...] Les lignes et surfaces décoratives expriment la vitalité en ce qu'elles semblent 'faire'. »²⁸²

Pour donner vie au motif, la *qualité* du mouvement compte tout autant. Dans le cas du motif graphique, le mouvement est doué d'une vie interne qui le distingue notamment des formes mathématiques ou géométriques idéalement tracées et des formes mécaniquement engendrées²⁸³. De telles formes, qualifiées de dynamiques par la philosophe, remplissent bien la condition d'un rapport indissociable entre changement continu et permanence dans l'image du cercle qui présente une « forme de mouvement »²⁸⁴. Cependant, elles ne correspondent pas à l'idée de forme 'vivante' : il leur manque un élément décisif, celui par lequel le mouvement se dote d'un caractère vivant ou apparaissant comme tel. Pour qualifier cette vie qui donne au mouvement dans l'art ce statut si particulier, la philosophe introduit le concept de *rythme*.

« Dire que le motif est *semblance de rythme*, c'est tenter d'en qualifier la croissance sous l'angle d'une continuité, d'une énergie et d'une direction qui confère à la forme une dimension d'activité qu'elle n'a pas dans le cas de la seule forme dynamique. »²⁸⁵

La forme vivante est caractérisée par l'exigence d'une activité constante par laquelle la forme, dans sa permanence et son unité, est conquise ou gagnée à chaque moment. La permanence de la forme n'est pas statique mais doit sans cesse être rejouée afin de constituer l'unité par laquelle elle existe. Cette activité est le « rythme », dont, en musique,

« l'essence [...] est la préparation d'un nouvel événement par l'achèvement d'un précédent »²⁸⁶.

²⁸¹ *Ibid.*, p. 58.

²⁸² LANGER, Susanne K., *Feeling and form*, p. 63 in BOISSIERE, Anne, « 'Forme vivante, formes de vitalité' », *Vie, Symbole, Mouvement, Susanne K. Langer et la danse*, p. 240.

²⁸³ Comme c'est le cas pour un point lumineux sur une surface sphérique que l'on ferait tourner très rapidement et qui, dans son mouvement, décrirait un cercle.

²⁸⁴ 'Form of motion'.

²⁸⁵ 'Semblance' est mis pour le terme 'image' afin d'éviter l'association au champ de la vision, LANGER, Susanne K., *Feeling and form*, p. 64.

²⁸⁶ *Ibidem*, p. 126.

Bien qu'il se manifeste principalement dans la périodicité, le rythme n'a pas pour élément décisif de sa définition la régularité. Ce n'est pas le critère temporel mais fonctionnel qui prévaut :

« Beaucoup de rythmes fondamentaux dans le monde sont périodiques ; en fait, ils sont si nombreux à l'être que la périodicité est souvent prise pour l'essence du rythme. Mais le point de vue que nous venons d'adopter sur le rythme comme implication fonctionnelle d'événements successifs fait des rythmes périodiques une catégorie spéciale, en dépit de leur immense importance, et nous permet de voir pourquoi un joueur de tennis, un oiseau tournoyant, et un danseur moderne qui ne répèterait pas nécessairement un mouvement particulier, peuvent éventuellement présenter aussi un rythme. »²⁸⁷

Le rythme conçu comme semblance de vie fournit l'élément central d'une définition de l'art qui s'organise autour de l'élément dynamique, celui que crée tout art quelles que soient les modalités de ses matériaux.

« Le motif est une forme symbolique qui abstrait la continuité, la directionnalité et l'énergie du mouvement, et véhicule l'idée de ces caractères abstraits exactement comme n'importe quel symbole véhicule sa signification. »²⁸⁸

S. K. Langer travaille en deçà de la division traditionnelle des arts, à un niveau spécifique de symbolisation pour les phénomènes les plus proches de la vie, hors du modèle du langage verbal, ce qui est très intéressant pour le domaine de la musique. La portée de sa pensée sur l'art atteint également les modèles de compréhension des relations sociales qui intègrent les interactions communicationnelles tissées avant la maîtrise du langage humain. L'œuvre de la philosophe a généré de nombreuses réflexions d'auteurs²⁸⁹ avec des retombées significatives dans le domaine des arts et de la musique en particulier, notamment chez L. B. Meyer avec les connotations de *mouvement* en musique ou chez M. Clynes avec l'idée que les arts recourent à ces formes expressives dynamiques pour stocker et incarner la signification émotionnelle. L'idée fondamentale de dynamique de la vitalité de D. N. Stern est en partie inspirée par le concept de *forme vivante* de S. K. Langer²⁹⁰ qui constitue en quelque sorte l'une des racines philosophiques et esthétiques des deux concepts qu'il développe dans le champ de la psychologie, les *affects de vitalité* et les *formes de vitalité dynamiques*, dont on constatera de féconds rejaillissements sur l'art musical en particulier.

²⁸⁷ *Ibid.*, p. 55.

²⁸⁸ *Ibid.*, p. 64-65.

²⁸⁹ Pour la plupart anglophones. L'ensemble de son œuvre, en particulier *Philosophy in a New Key, A Study in the Symbolism of Reason, Rite, and Art*, Cambridge, Harvard University Press, 1942/1971, n'a jusqu'à présent pas fait l'objet de traduction. Dernièrement, deux textes ont été traduits dans l'ouvrage consacré à la danse, édité par BOISSIERE, Anne et DUPLAY, Mathieu, *op. cit.*, 2012.

²⁹⁰ STERN, Daniel N., *Les formes de vitalité, Psychologie, arts, psychothérapie et développement de l'enfant*, Paris, Odile Jacob, 2010, p. 50.

1.3.3 Les formes dynamiques dans la musique

On trouve l'idée de forme dynamique en musique, exprimée chez E. Hanslick en termes de formes sonores en *mouvement* :

« Que contient donc la musique ? pas autre chose que des *formes sonores en mouvement*. »²⁹¹
 (...) « La musique se compose de combinaisons et de formes sonores qui n'ont d'autre sujet qu'elles-mêmes. »²⁹²

L'idée de forme est réalisée en musique de façon particulière :

« Les formes sonores ne sont pas vides mais parfaitement remplies ; elles ne sauraient s'assimiler à de simples lignes bornant un espace ; elles sont l'esprit qui prend corps et qui tire de lui-même sa corporification. »²⁹³

L'auteur lie musique et *mouvement*, pensant que

« L'idée de mouvement a été négligée d'une manière surprenante par tous ceux qui ont entrepris d'étudier l'essence et les effets de la musique ; pour nous, cependant elle est la plus importante et la plus féconde de toutes. »²⁹⁴

Le *mouvement* est considéré comme l'élément commun entre musique et sentiment. Cependant, la musique ne peut exprimer le *contenu* des sentiments mais exclusivement leur aspect *dynamique*.

« La musique se prête à figurer le *mouvement*, dans un état psychique, d'après les phases que celui-ci traverse ; elle est selon le moment, lente ou vive, forte ou douce, impétueuse ou languissante. Mais le mouvement est un attribut, une manière d'être du sentiment ; il n'est pas le sentiment. »²⁹⁵

Le théoricien du mouvement F. J. J. Buytendijk s'intéresse²⁹⁶ également à la dynamique des formes temporelles et en particulier au *mouvement* en musique. Il estime que lors de l'exécution d'un croquis, la perception globale peut attendre le dernier trait de crayon, le tout prenant subitement un sens. En revanche, lors de l'audition musicale, il ne peut être question du développement d'une image statique. Concernant la mélodie, il faut suivre intérieurement le *mouvement* en mesure et en hauteur. Ce *mouvement* est une condition de l'audition. Grâce à lui, l'événement temporel devient une forme dont l'unité n'est pas seulement l'effet des événements passés mais se compose également de ce qui va suivre, par la direction déjà indiquée.

²⁹¹ HANSLICK, Edouard, *Du beau dans la musique, essai de réforme de l'esthétique musicale*, Maquet et Cie, Paris, 1893/2007, p. 49.

²⁹² *Ibidem*, p. 116-117.

²⁹³ *Ibid.*, p. 51.

²⁹⁴ *Ibid.*, p. 30.

²⁹⁵ *Ibid.*, p. 29.

²⁹⁶ BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *Attitudes et Mouvements: étude fonctionnelle du mouvement humain*, Paris, Desclée de Brouwer, 1957.

Le psychiatre et psychanalyste D. N. Stern a initié la prise en considération des aspects dynamiques de l'expérience humaine en cherchant à les cerner du côté des premières interactions mère-enfant, via le concept d'*affects de vitalité*²⁹⁷. Une orientation des travaux de S. K. Langer se formule également en termes de mouvement et privilégie une question relative à la vie. D. N. Stern emprunte cette direction en 2010 et tente de dégager un niveau autonome pour le concept de *formes de vitalité dynamiques*²⁹⁸. Il s'ensuit un retour éclairant sur les formes dynamiques dans l'art musical.

1.3.3.1 Des formes de vitalité dynamiques ...

La pensée de D. N. Stern s'approfondit et s'affine en considération de la question des aspects dynamiques de l'expérience humaine. En 2004, ses recherches sur l'instant présent de l'expérience²⁹⁹ le mènent à insister davantage sur les traits dynamiques temporels. Il en vient en 2010 au concept de *formes de vitalité dynamiques*, terme générique qui lui permet de regrouper les précédents termes de formes temporelles des sentiments, contours temporels des sentiments, enveloppes proto-narratives et contours de vitalité³⁰⁰.

« Ces changements terminologiques ne reflètent pas forcément des changements profonds de concepts mais plutôt un déplacement d'accents vers des contextes conceptuels différents. [...] Aux discussions antérieures autour du temps et de l'intensité sont ainsi ajoutées les notions de 'force', de 'mouvement', d' 'espace', de 'directionnalité' et de 'vie'. »³⁰¹

L'auteur précise que cette évolution terminologique a partie liée avec la difficulté de mettre en mots des notions dynamiques et l'impossibilité à y parvenir parfaitement.

Les formes de vitalité dynamiques sont des phénomènes psychologiques subjectifs qui émergent de la rencontre avec des événements dynamiques. Le concept rapproche quatre thèmes convergents : les traits dynamiques de l'expérience, la subjectivité vue sous l'angle phénoménologique, l'intermodalité et la métamodalité, et l'intersubjectivité. L'idée de formes de vitalité postule que cinq expériences fondamentales – mouvement, force, temps, espace, intention – sont directement intégrées en un même tout. Cette quintuple structure dynamique fondamentale est une *Gestalt* naturelle de base qui s'applique au monde inanimé, aux relations interpersonnelles et aux produits de la culture. Les formes de vitalité aident l'homme à s'adapter aux situations nouvelles : traiter séparément chaque élément dynamique de

²⁹⁷ STERN, Daniel N., *Le monde interpersonnel du nourrisson Une perspective psychanalytique et développementale*, Paris, PUF, 1985/traduction 1989.

²⁹⁸ STERN, Daniel N., *op. cit.*, 2010.

²⁹⁹ STERN, Daniel N., *Le moment présent en psychothérapie Un monde dans un grain de sable*, Paris, Odile Jacob, 2003.

³⁰⁰ STERN, Daniel N. *et al.*, 1984 ; STERN, Daniel N., 1985 ; 1994 ; 1995 ; 1999 ; 2004.

³⁰¹ *Idem*, *Les formes de vitalité*, p. 191.

l'expérience, vitesse, intensité, profil temporel, nécessiterait un important travail d'intégration des fragments qui serait peu efficace. Pour simplifier les processus d'adaptation, une *Gestalt* s'interpose entre les stimuli et l'expérience subjective traitée. La vitalité est un tout qui émerge des expériences sans subir d'analyse consciente.

Le domaine des formes de vitalité dynamiques est autonome, distinct des domaines de l'émotion³⁰², de la sensation³⁰³ et de la cognition. Bien que présentes dans presque toutes nos activités de veille, ces formes de vitalité demeurent difficilement appréhendables car

« [...] elles sont masquées par les émotions que nous ressentons dans le même temps. Lorsqu'elles accompagnent un train de pensées, elles sont absorbées dans la signification explicite, et nous ne faisons pas attention au sentiment d'émergence de la pensée, mais seulement à son contenu. Elles nous glissent entre les doigts. »³⁰⁴

Le mouvement, avec ses propriétés globales et amodales, est à la racine et au cœur de la problématique des aspects dynamiques de l'expérience humaine. Son rôle est crucial dans la création des formes de vitalité pour différentes raisons : l'esprit est incarné ; le mouvement est un élément déterminant ; l'expérience dynamique naît de forces en mouvement ; le mouvement apparaît en première position dans l'évolution et dans le développement ; il occupe une place primordiale dans nos expériences tout au long de la vie ; il est *quasi* omniprésent³⁰⁵. Le mouvement est premier et va de pair avec les quatre autres éléments de la structure dynamique fondamentale. Il est lié au temps car il se déroule pendant un certain laps de temps, avec un profil temporel – l'esprit perçoit le temps, forme et durée, simultanément aux mouvements. Il est lié à la force car il entraîne la perception ou l'attribution de force(s) « derrière » ou « en » lui. Il est lié à l'espace car il se produit nécessairement dans l'espace et définit un sentiment d'espace. Enfin, il est lié à l'intention car il a une directionnalité.

D. N. Stern cherche à saisir comment ce mouvement se déploie, quelle que soit sa modalité d'origine, qu'il vienne de l'intérieur ou de l'extérieur, de l'émotion ou de la cognition, de la nature ou de l'art. Pour ce faire, il s'intéresse exclusivement à la description de la dynamique définie en termes de force, vitesse et déroulement d'événements de petite

³⁰² Elles diffèrent des émotions par leur nature, leur perception, leur non-spécificité, leur omniprésence et leur neurobiologie. A. Damasio (1999) a décrit les « sentiments (*feelings*) d'arrière-plan » qui sont vus comme l'extension des émotions ou des sensations, lesquelles naissent de changements et de perturbations de l'état interne de l'organisme. Contrairement à A. Damasio, D. N. Stern voit la dynamique de vitalité comme n'appartenant à aucun domaine mais étant présente dans tous. Elle peut donc être indépendante de l'émotion et de la sensation. Il maintient la distinction entre sentiment d'arrière-plan, le « sentiment de ce qui se passe », et dynamique de la vitalité, le « sentiment » d'être en vie, car il suppose que les mécanismes neuronaux qui les sous-tendent sont différents.

³⁰³ Les formes de vitalité se distinguent des sensations car elles sont indépendantes de la modalité.

³⁰⁴ *Ibidem*, p. 20-21.

³⁰⁵ « Lorsque nous entendons de la musique, nous percevons du 'son en mouvement'. Kurth (1925 ; 1931/91) » *Ibid.*, p. 30.

échelle³⁰⁶ qui composent les moments psychologiques interpersonnels de nos vies³⁰⁷. Ces événements sont à la base de notre expérience des autres et de notre perception de leur vitalité mais également à la base de notre perception du flux dynamique des arts et de la musique, avec la perception du son en *mouvement*. Outre les actions physiques, les formes de vitalité dynamiques incluent également des mouvements mentaux, de la pensée³⁰⁸ ou des mouvements imaginaires. L'esprit peut avoir une intention, *i.e.* se projeter vers un mot ou vers une image :

« Les intentions sont des expressions mentales de forces directionnelles qui se préparent, qui s'efforcent même de 'bouger' ou ont déjà commencé mais sont encore en train de se déployer. A l'instar d'une phrase musicale, elles sont subjectivement suspendues vers l'avant. »³⁰⁹

L'existence d'un mouvement virtuel est montrée par le biais des neurones miroirs³¹⁰.

« En définitive, comprendre des mots, imaginer des actions, avoir l'intention d'agir ou exécuter des actes d'imitation, d'identification ou d'empathie sont peut-être autant de processus passant par le 'mouvement imaginé'. Le mouvement reste essentiel pour les animaux, mais il se peut qu'au cours de l'évolution, le mouvement imaginé le soit devenu chez les humains. Il est le pivot de toutes les actions et toutes les pensées. »³¹¹

Les formes de la vitalité dépendent de la façon dont l'esprit traite l'expérience dynamique, quelle qu'en soit sa source. Elles véhiculent un contenu et lui donnent un profil temporel et un profil d'intensité. La dynamique de vitalité transforme le contenu en expérience dynamique. Bien que la forme de vitalité et l'expérience de son contenu fusionnent en un événement holistique, elles demeurent dissociables³¹² : une fois que l'expérience active le cerveau, elle laisse une représentation de la pure vitalité et une représentation du contenu. La première encode la vitesse et ses variations, l'intensité (force) et ses changements, la durée, l'accentuation temporelle, le rythme et la directionnalité ; la seconde encode la modalité d'origine du stimulus, les *qualia* de l'expérience, les moyens, les

³⁰⁶ De l'ordre de la seconde.

³⁰⁷ Quelques exemples de courtes expériences dynamiques quotidiennes : Le rythme et l'accentuation d'un énoncé voire d'un mot ; la façon dont se dessine un sourire sur un visage ou les instants successifs d'un sourire ; la manière de changer de position sur une chaise ; un haussement de sourcils lorsqu'on est intéressé par quelque chose, et la durée de cette expression ; le changement, le glissement d'un regard, un flash ou une cascade de pensée. *Ibid.*, p. 15.

³⁰⁸ « Au moment où il a lieu, un mouvement mental trace dans le temps une courbe de force montante et descendante. C'est sa forme de vitalité dynamique », *ibid.*, p. 32.

³⁰⁹ *Ibid.*

³¹⁰ Lorsqu'on imagine la réalisation d'un acte particulier, cela engendre une structure d'activité cérébrale semblable à celle qui est engendrée quand l'acte en question est réellement exécuté. Il se produit dans le cortex quelque chose qui renvoie un signal aux aires motrices appropriées afin qu'elles activent les muscles du corps qui seraient intervenus si l'événement imaginé avait été réalisé. Un certain niveau d'activation est bien enregistré dans les muscles concernés, sans être suffisant pour déclencher un mouvement.

³¹¹ *Ibid.*, p. 170.

³¹² Ce problème de séparation entre formes de vitalité et expérience du contenu n'est toutefois pas résolu. *Ibid.*, p. 36.

objectifs et la signification. Au niveau psychologique³¹³, ces représentations pourraient être enregistrées métaphoriquement comme deux fils dont celui de la vitalité dynamique serait plus fondamental et primaire, celui de la modalité du contenu ne nous apparaissant que lorsqu'il est enroulé autour du premier.

Selon D. N. Stern, les formes de vitalité ont une base neuroscientifique. Les systèmes d'excitation jouent un rôle crucial dans la formation de l'expérience dynamique non réfléchie. Ils apportent la « force » perçue de la dynamique de la vitalité.

« L'excitation est la force qui sous-tend le déclenchement, l'intensité et la durée de presque tout ce que nous faisons (Hebb, 1955 ; Robbins & Everitt, 1996 ; Pfaff, 2006 ; Pfaff & Banavar, 2007 ; Pfaff & Kieffer, 2008). (...) C'est l'excitation qui détermine quand nous faisons ce que nous faisons et selon quelle dynamique. Elle est bien adaptée aux formes de vitalité directes. Cependant, l'expérience des variations de l'excitation – en particulier ses microvariations – n'a pas encore été étudiée. »³¹⁴

Les systèmes d'excitation pourraient être une infrastructure qui rend l'expérience des formes de vitalité possible : ils ont la finesse et la flexibilité nécessaires pour façonner le découpage temporel et l'intensité de l'excitation pour modeler sa force en forme dynamique.

« [...] certaines particularités anatomiques et fonctionnelles des systèmes d'excitation en font les fournisseurs possibles des éléments de temps et de force nécessaires à l'émergence de formes de vitalité dynamiques. »³¹⁵

Le rôle des formes de vitalité apparaît prépondérant au cours des phases du développement. Le mouvement est l'événement le plus précoce et le plus saillant³¹⁶ mais il ne vient pas seul. Puisqu'il lui faut du temps pour se déployer, il dessine un profil temporel. Une fois que le bébé a fait l'expérience de l'action intentionnelle et de l'effort, le mouvement s'accompagne de force. Les cinq éléments nécessaires pour produire la forme de vitalité dynamique sont alors présents. Les stimuli dynamiques³¹⁷ sont probablement les premiers en place au cours du développement et les éléments dynamiques seraient enregistrés très tôt pour de nombreuses modalités. Ces formes de vitalité permettent la construction de sens par la communication intersubjective hors langage verbal.

³¹³ Au niveau neuroscientifique, ce serait des réseaux neuronaux imbriqués.

³¹⁴ *Ibid.*, p. 75.

³¹⁵ *Ibid.*, p. 92.

³¹⁶ D. N. Stern affirme l'idée de la primauté du mouvement et de ses éléments dynamiques en tant qu'infrastructure dynamique qui permettent les phases ultérieures de développement. Tout comme les systèmes d'excitation, le mouvement apparaît très tôt dans l'ontogenèse. De nombreuses études cliniques sont consacrées à la régulation de l'excitation chez le bébé. Une échelle d'évaluation du comportement est conçue pour évaluer les compétences individuelles des bébés ainsi que leur capacité à réguler leur niveau d'excitation dans différents contextes de stimulation (visuelle, auditive, tactile) et le style de cette régulation. Il est intéressant de noter que toutes les « réponses » sont dans ses mouvements et que la qualité dynamique de ceux-ci précise ses « réponses ».

³¹⁷ Les stimuli peuvent être divisés en essentiellement statiques (ou séquentiels graduels) et en dynamiques, en évolution constante. *Ibid.*, p. 144.

1.3.3.2 ...aux formes dynamiques en musique

En 1985, l'idée des affects de vitalité est introduite en référence à l'approche du sentiment dans l'art par la philosophe S. K. Langer. Cette notion est opérationnelle pour la musique et la danse, ces deux arts ayant une affinité particulière avec les aspects dynamiques de l'expérience du ressenti. Cette orientation trouve une confirmation en 2010 dans une approche de l'art organisée autour des formes de vitalité. D. N. Stern se situe dans une perspective avant tout comportementale et psychologique sur l'art, envisagé comme un phénomène parmi d'autres des interactions humaines multiples qui mettent en jeu des affects de vitalité³¹⁸. Il élargit sa réflexion à l'idée d'un mouvement qui appartiendrait à l'art. Il insiste sur le caractère amodal des dynamiques qui définissent les formes de vitalité.

« La nature métamodale des formes de vitalité permet les 'correspondances' entre les arts. La dynamique de l'expérience apparaît dans toutes les formes d'art parce qu'elles parlent la même langue métamodale des formes de vitalité, avec ou sans émotions identifiable. »³¹⁹

Revenant sur le problème de l'unité des sens, L. E. Marks passe en revue³²⁰ les attributs suprasensoriels imaginés par de nombreuses sources philosophiques. Il liste des éléments spatiaux – forme, espace, extension dans l'espace, des éléments temporels (durée), l'intensité (grandeur), le mouvement, le repos, le nombre, l'unité, la luminosité. Toutefois, selon D. N. Stern, la question de la métamodalité des formes de vitalité reste posée et

« A terme nous aurons besoin d'une catégorisation plus élaborée, une typologie des nombreux types différents de formes de vitalité, qui apparaissent dans notre vie subjective. »³²¹

Les arts fournissent d'excellents exemples du fonctionnement des formes de vitalité liées à l'excitation :

« Les formes de vitalité sont les unités expérientielles à l'œuvre... Elles surgissent dans l'esprit du public, et peut-être dans celui de l'artiste, et ont sans doute existé sous une forme ou une autre dans l'esprit du créateur. »³²²

Les arts du spectacle en particulier sont très liés à la question de la dynamique des expériences. Ils sont générateurs de formes de vitalité dynamiques qui sont présentes sous une forme relativement purifiée, avec les éléments dynamiques amplifiés, affinés et répétés. D. N. Stern examine les aspects dynamiques de la musique, de la danse, du théâtre et du cinéma, et limite son étude au traitement de petites formes dynamiques. Les différents arts ont

³¹⁸ Cette option méthodologique l'éloigne de celle du symbolique, privilégiée par S.K. Langer qui revendique pour l'art une place irréductible à toute autre. BOISSIERE, Anne, "Forme vivante, formes de vitalité", p. 225.

³¹⁹ STERN, Daniel N., *op. cit.*, 2010, p. 103.

³²⁰ MARKS, Lawrence E., *The Unity of the Senses : Interrelations among the Modalities*, New York, Academic Press, 1978.

³²¹ STERN, Daniel N., *op. cit.*, p. 40.

³²² *Ibidem*, p. 96.

leurs propres techniques pour coder ces formes de vitalité dynamiques³²³. Dans le cas de la musique, les formes de vitalité sont actives dans le *mouvement* des sons :

« Au fil des siècles, la musique a élaboré un système de marquage des éléments dynamiques qui rendent une interprétation fidèle aux intentions et aux impulsions du compositeur et constitue aussi une norme d'évaluation des interprétations individuelles. »³²⁴

S'intéressant au phénomène d'excitation par variation, l'auteur précise que les changements de rythme modifient immédiatement les schémas d'excitation. De même pour le tempo dont les indications conventionnelles aident à créer la forme de vitalité : les changements de vitesse progressive créent des micros variations de l'excitation.

Des codes musicaux écrits s'apparentent à des marqueurs dynamiques perçus par l'auditeur. Concernant l'intensité, le terme « dynamique » renvoie au volume que l'auditeur ressent comme reflet de la force que le musicien a déployé pour produire un son *forte* ou un *crescendo*. La combinaison de la force physique, de la gravité et de l'intention façonne et exprime les formes de vitalité. Les changements d'intensité, *i.e.* le profil de l'intensité dans le temps, produisent des formes de vitalité spécifiques. L'accentuation est la production d'une « attaque » qui nécessite une préparation physique et mentale pour libérer la puissance d'un coup rapide. Celle-ci est transmise à l'auditeur comme une forme de vitalité grâce à notre perception transmodale et grâce au système des neurones miroirs. Ainsi, un *staccato*, par opposition au *legato*, est un sautillerment, par opposition à un flux. La fluidité d'une phrase est notée par des liaisons au-dessus d'un groupe de notes. On trouve également une marque signifiant qu'une note doit être tenue. Le flux de la musique est un phénomène complexe. Ainsi, une phrase répétée peut avoir un flux différent parce que la deuxième fois, la dynamique de son flux est attendue. La nature des séquences et les attentes qu'elles satisfont ou contrarient, de même que les normes culturelles, jouent un rôle important dans nos réactions dynamiques aux structures des flux.

1.4 Bilan

Dans la limite de nos recherches bibliographiques, les conceptions du *mouvement* du rythme provenant des champs philosophique, musicologique et psychologique sont riches et variées mais semblent peu assurées.

³²³ Les formes de vitalité existeraient donc dans toutes les modalités et engendreraient des ressentis similaires, quelles que soient leur modalité d'origine.

³²⁴ *Ibid.*, p. 104.

Le *mouvement* est une qualité essentielle mais la plus abstraite du rythme musical. Il est difficilement appréhendable et résiste à l'analyse de la raison. Sur le plan musicologique, on recense des informations qui viennent enrichir nos données sur la nature du *mouvement* rythmique avec les éléments inducteurs de *mouvement* et sur le processus d'évolution propre au matériau musical rythmique. Des formes élémentaires de *mouvement*, élan-repos, tension-détente, émanent de l'organisation temporelle de l'intensité, des durées et des accents. Ces éléments semblent donc être des facteurs déterminants dans la formation du *mouvement* rythmique, sur lesquels peut s'appuyer l'analyse musicale. Ils peuvent agir de manière séparée mais sont généralement combinés, d'où la complexité de l'analyse du phénomène.

Considérer le rythme comme phénomène subi ou agi contribue à placer l'auditeur au centre de la conception du *mouvement*. Passant de la perception du rythme à l'expérience rythmique puis à la cognition musicale incarnée du rythme et au concept expérientiel de *mouvement* musical, l'analyse du phénomène s'est focalisée sur les processus de formation du *mouvement* dans l'esprit et le corps de l'auditeur. Cet aspect dynamique peut être envisagé comme un trait pertinent du rythme que l'auditeur perçoit et avec lequel il peut interagir.

Ces éléments amènent à considérer le rythme comme une *Gestaltung*, ainsi que l'avaient pensée les philosophes Grecs anciens. Le concept de forme dynamique semble opératoire pour analyser les qualités dynamiques du rythme suivant l'évolution temporelle de ses éléments porteurs de *mouvement*. Cette forme dynamique musicale rythmique serait en lien avec les formes de vitalité dynamiques de l'auditeur. Les profils temporels des dynamoagogiques du rythme pourraient donc être rapprochés des profils d'activation à l'œuvre chez l'auditeur dans les formes de vitalité dynamiques.

2 Description par l'auditeur du rythme et de son *mouvement*

Du fait de l'importance des éléments subjectifs dans la construction du rythme et vu les difficultés et les limites de la musicologie théorique dans la représentation et l'analyse musicale des aspects dynamiques du rythme, de nombreuses recherches empiriques se sont intéressées à la description par l'auditeur du *mouvement* perçu dans la musique. Initialement, les liens entre perception du rythme et impression de *mouvement* sonore sont apparus dans des recherches requérant des jugements et non des performances de l'auditeur. Toutefois, cette méthode a montré des limites inhérentes au déroulement temporel de la musique. De ce fait, les recherches empiriques sur le *mouvement* musical ont recouru aux réponses motrices de l'auditeur en temps réel, qu'elle soit musicale, vocale ou instrumentale, de grande motricité, par l'expression corporelle ou la danse, ou encore de motricité fine, avec des mouvements du bras, de la main, ou par la manipulation manuelle d'un matériel. La revue de questions suivante porte sur les méthodes de recherche, avec divers supports d'activité et outils de réponse des auditeurs, et sur leurs résultats qui enrichissent les données scientifiques sur la nature des éléments rythmiques porteurs de *mouvement*.

2.1 Description verbale de la musique

Dans les années 1920, E. L. Gatewood demande¹ à des sujets d'écouter des pièces de musique, de les rapporter à l'une des quatre qualités – rythme, mélodie, harmonie et hauteur – qui leur semble dominante puis d'indiquer leurs impressions pour chacun des morceaux. Une impression de *mouvement* est perçue dans 64% des pièces dans lesquelles le rythme est dominant. Le *mouvement* musical semble donc électivement associé au rythme.

En 1968, H. de la Motte-Habert étudie les caractères de *mouvement* rapportés au rythme par des descriptions verbales d'auditeurs². Des caractères d'opposition sont attribués aux extraits de pièces musicales : « Vital-gai-rapide *versus* monotone » (mambo, samba *versus* slowfox) ; « Balancement, gracieux, souple *versus* frapper, taper » (valse *versus*

¹ GATEWOOD, Esther L., "An experimental study of the nature of musical enjoyment", *The effects of music*, ed. Max Schoen, New York, Harcourt Brace, 1927, p. 78-120.

² MOTTE-HABER, Helga de la, *Ein Beitrag zur Klassifikation musikalischer Rhythmen*, Köln, Arno Volk, 1968.

marche) ; « Excitant, intense, agressif *versus* calme, doux » (pop rock *versus* valse lente, scottish). Ces descriptions verbales restent cependant très approximatives dans leur rapport aux qualités musicales étudiées.

Dans les années 1970, A. Gabrielsson s'intéresse³ à deux types de réponses des auditeurs – par le choix d'adjectifs ou par des jugements de similarité entre paires de rythmes – qui indiquent la présence dans le rythme d'une dimension perceptive qu'il nomme caractère de mouvement. C'est la première dimension utilisée dans le marquage du jugement de similarité entre rythmes par les auditeurs qui décrivent a posteriori comment, en cherchant à évaluer la similarité entre paires de rythmes, ils essaient de trouver une similarité avec des mouvements corporels réels ou imaginaires qu'eux-mêmes pourraient faire sur la musique.

A l'issue d'expérimentations qui étudient une boucle performance rythmique-séquence sonore-réponse de l'auditeur, en 1986, A. Gabrielsson montre⁴ combien le rythme musical est multidimensionnel, subdivisé en trois aspects, expérientiel, comportemental et psychophysique. Comme comportement visible, le rythme inclut les actions de taper du pied, secouer la tête, frapper des mains, danser ; comme réponse électrophysiologique, il réfère aux changements de respiration, de rythme cardiaque, à l'activité musculaire, cérébrale, *etc.* L'expérience du rythme inclut trois aspects du rythme⁵ qui interfèrent, mouvement et émotion étant fortement connectés : la structure (perception de groupement, de mètre, position et force des accents, uniformité *versus* variation, simplicité *versus* complexité, *etc.*) ; le « caractère de mouvement » (la densité des événements sonores, le tempo, la *dynamique* du mouvement – impression d'accélération ou de décélération au sein d'un pattern suivant que le rythme perçu enjambe la barre de mesure ou qu'il se termine avec elle – et les caractères de mouvement, *i.e.* différents aspects de mouvements expérimentés dans la relation à l'expérience rythmique comme danser-marcher, flotter, balancer, glisser-bégayer, *etc.*) ; le caractère émotionnel (excitation et tension sont décrites par des couples d'adjectifs comme excité-calme, rigide-flexible, solennel-ludique, *etc.*). Finalement, A. Gabrielsson précise que deux aspects du *mouvement* dans la musique peuvent être considérés par l'auditeur. L'un réfère à un mouvement physique, à un déplacement d'objet ou à ses caractéristiques (vitesse, trajectoire). La musique peut être envisagée comme imitation de mouvements réels, comme imitation de la nature et pourrait traduire la forme, la durée, le rythme, la direction du mouvement d'un objet. Ainsi, on trouve diverses figures rythmiques pour imiter certains

³ GABRIELSSON, Alf, "Similarity ratings and dimension analyses rhythm patterns", *Scandinavian Journal of Psychology*, 14-1, 1973, p. 138-160. *Idem*, "Adjective ratings and dimension analyses rhythm patterns", *Scandinavian Journal of Psychology*, 14-1, 1973, p. 244-260.

⁴ GABRIELSSON, Alf, "Rhythm in music", *Rhythm in Psychological, Linguistic and Musical Processes*, ed. James R. Evans and Manfred Clynes, Springfield, 1986, p. 131-167.

⁵ *Ibidem*, p. 141-142.

mouvements (par exemple, le galop de cheval, *etc.*) ; ces figures sont en général une imitation des vibrations de la manière la plus proche, la plus directe. L'autre, plus subjectif, est connecté aux émotions. Il se rapporte au caractère de mouvement (allure, expression émotionnelle, style, « manière »).

Dans le cadre d'une recherche sur le *mouvement* de la musique, en 2006, Z. Eitan et R. Y. Granot examinent⁶ comment la musique affecte les images mentales de mouvements corporels humains imaginés par l'auditeur⁷. L'expérience vise à déterminer comment les paramètres musicaux affectent l'imagerie cinétique⁸ des auditeurs : des modifications du son (amplitude, contour tonal, intervalles de hauteur, vitesse d'attaque, articulation, tempo) évoquent-elles des changements de type de mouvement, direction, rythme, *etc.* ? Les auteurs émettent trois hypothèses : il existe de une à plusieurs correspondances musique-mouvement⁹ ; les associations entre musique et mouvement sont symétriques directionnellement¹⁰ ; un changement global de tempo et les changements dynamiques des paramètres musicaux affectent les associations spatiocinétiques. Ils proposent à 77 auditeurs occidentaux d'associer mentalement les changements de paramètres de stimuli musicaux¹¹ simples et contrôlés avec les mouvements imaginés d'un personnage humain dans un film¹². La méthode de description du mouvement transite par une description verbale puisque, pour chaque figure musicale, les participants précisent les caractères de mouvements corporels imaginés dans un questionnaire à choix multiples¹³. De brèves figures musicales sont conçues par paire de sorte qu'un des membres présente l'intensification d'un paramètre, l'autre, un abattement (cf. *infra*). Les paramètres manipulés¹⁴ sont les dynamiques, les hauteurs, les

⁶ EITAN, Zohar, GRANOT, Roni Y., "How Music Moves : Musical Parameters and Listeners' Images of Motion", *Music Perception*, Volume 23, 2006, p. 221-247.

⁷ L'intérêt porte non sur la relation première entre musique et mouvement mais sur des relations plus abstraites qui émergent lorsque la musique est déconnectée de ses racines corporelles. Les auteurs considèrent que la musique comme mouvement dans l'espace est une expérience métaphorique.

⁸ Images de l'espace physique et de mouvements corporels.

⁹ Chaque paramètre musical peut correspondre à plusieurs caractéristiques de mouvement et inversement.

¹⁰ Toutes choses étant égales, les processus musicaux diamétralement opposés, m et $-m$, pourraient évoquer des processus cinétiques diamétralement opposés. En termes expérimentaux, un auditeur qui associe un stimulus musical m (ex : un *crescendo*) avec une qualité cinétique k (ex : une ascension spatiale), pourrait associer le stimulus inverse $-m$ (un *diminuendo*) avec la qualité cinétique opposée $-k$ (une descente).

¹¹ Associés à la tradition musicale de l'Ouest.

¹² Les stimuli feraient en quelque sorte office de bande-son.

¹³ - Type de mouvement : marcher, courir, sauter, ramper, tomber, glisser

- Direction verticale : ascension, descente

- Changement de distance par rapport au spectateur : approche, éloignement

- Direction plane, horizontale : mouvement vers la droite, la gauche ou autre

- Changement de rythme du personnage

- Interférence d'une force externe (hormis la gravité) avec le mouvement imaginé

- Intervention d'une force aidant, s'opposant ou faisant dériver le mouvement imaginé

- Niveau d'énergie (de 1 à 7)

¹⁴ Le timbre, l'harmonie, la structure tonale mélodique et la structure métrique n'ont pas été étudiés.

durées et les articulations. Deux expériences permettent de mesurer l'effet des tempi¹⁵. Sur le plan tonal, les stimuli sont ambigus afin de minimiser les effets des implications tonales. Ce matériau musical résulte d'un compromis entre validité écologique et environnement contrôlé et présente quelques limites : ces motifs sonores ne sont pas issus d'un contexte musical qui peut affecter les associations spatio-cinétiques de mouvements spécifiques ; plus encore, ils présentent des changements unidirectionnels de paramètres simples alors que des contours paramétriques complexes caractérisent la musique.


The image displays six musical staves, each illustrating a different parameter of a musical stimulus. Each staff is divided into two parts, numbered 1 through 12.

- 1 DYNAMICS:** Shows a melodic line starting with a *ppp* dynamic and increasing to *fff* in the first part, and starting with *fff* and decreasing to *ppp* in the second part.
- 3 PITCH DIRECTION:** Shows a melodic line that starts with a *mf* dynamic and moves from a lower pitch to a higher pitch in the first part, and from a higher pitch to a lower pitch in the second part.
- 5 PITCH DIRECTION (SEQUENCE):** Shows a sequence of notes that generally ascend in pitch across the first part and descend in pitch across the second part.
- 6:** Shows a melodic line that starts with a higher pitch and moves to a lower pitch across the first part, and then starts with a lower pitch and moves to a higher pitch across the second part.
- 7 PITCH INTERVALS (ascending):** Shows a melodic line where the intervals between notes are consistently ascending in the first part and consistently descending in the second part.
- 9 PITCH INTERVALS (descending):** Shows a melodic line where the intervals between notes are consistently descending in the first part and consistently ascending in the second part.
- 11 ATTACK RATE:** Shows a melodic line where the attack rate (the time it takes for a note to reach its full amplitude) is slower in the first part and faster in the second part.

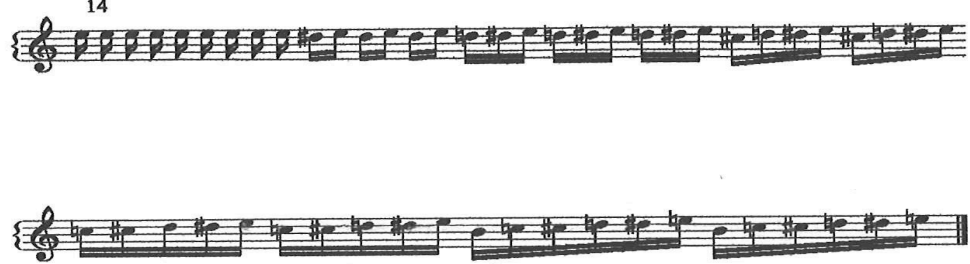
¹⁵ Les stimuli sont présentés à 160 bpm dans l'expérience 1 et à 90 bpm dans l'expérience 2.

MOTIVIC PACE

13




14



ARTICULATION

15



16

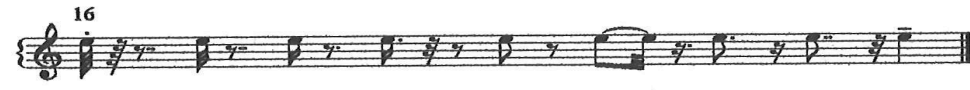


Figure 3: Huit paires de stimuli musicaux¹⁶

Les résultats indiquent que tous les paramètres musicaux étudiés – l'intervalle mélodique, dans une moindre mesure – affectent significativement les paramètres de mouvements imaginés :

¹⁶ *Ibidem*, p. 229-230.

Stimuli	Paramètres musicaux	Mouvements corporels imaginés
1	Dynamiques <i>Crescendo</i>	Distance Energie Verticalité Vitesse - Approche et Accélération <i>Pas d'ascension</i> de la marche à la course
2	<i>Diminuendo</i>	- Eloignement et ralentissement <i>Descendant/Chute/glissement</i>
13-14 3-4 5-6	Intervalles IOI¹⁷ et Motif rythmique Accélération (IOI décroissant) Décélération (IOI croissant)	Vitesse - Images de descente - Descente et éloignement
7-8 9-10	Hauteurs Intervalles croissants Intervalles décroissants	Distance Verticalité Energie - Éloignement Ralentissement - Baisse d'énergie Verticalité Chute
11-12-15-16	Articulation <i>Staccato</i> <i>Tenuto</i> Transition <i>staccato-tenuto</i> avec changement d'intensité	Distance - Éloignement - Rapprochement Éloignement
	Tempi Rapide <i>Ritardando</i> <i>Lento + diminuendo</i> <i>Lento + rallentando</i>	Cinétique Niveau d'énergie - Mouvements rapides - Ralentissement + Éloignement - Descente - Pas de descente

Tableau 9: Liens entre paramètres musicaux et mouvements corporels imaginés par l'auditeur, selon Z. Eitan et R. Y. Granot

Les auteurs constatent que les analogies musicales-spatiales sont souvent asymétriques : un changement musical dans une direction évoque une analogie spatiale significativement plus forte que son opposé. De telles asymétries incluent l'association de changements de hauteur sonore et de verticalité spatiale, qui s'appliquent surtout quand les hauteurs descendent. En général, les abattements musicaux sont plus fortement associés avec une descente spatiale tandis qu'une intensification musicale est associée à un accroissement de vitesse plus qu'à une ascension. L'espace musical ne serait donc pas composé d'oppositions binaires simples.

Sur le plan des stratégies individuelles, les choix effectués par les auditeurs présentent des tendances claires et significatives statistiquement¹⁸. Musiciens et non musiciens relient de la même manière les caractéristiques musicales et les mouvements corporels imaginés. De nombreux aspects de correspondance musique-mouvement semblent donc avoir une source

¹⁷ L'IOI, Inter-Onset Interval, est l'intervalle de temps entre deux attaques.

¹⁸ Bien que les images de l'espace et du mouvement affectés par la musique puissent être construites suivant des stratégies de correspondance diverses et parfois conflictuelles entre auditeurs ou chez un même auditeur.

plus générale que l'expérience musicale professionnelle. Toutefois, les correspondances sont établies de façon plus constante et plus assurée chez les musiciens dont l'expérience physique du mouvement – le jeu instrumental – permettrait de cristalliser le réservoir de l'association cinétique et spatiale des paramètres musicaux.

L'étude indique une correspondance cognitive complexe, multiface entre stimuli musicaux et espace-mouvement. Ce niveau de complexité du réseau musico-kinétique est sans doute nettement supérieur dans un contexte d'écoute de matériaux musicaux réels. Le questionnaire à choix multiples introduit un biais méthodologique avec l'effet inducteur des propositions de réponses. Par ailleurs, les auteurs en conviennent, les réponses exprimées verbalement requièrent un niveau décisionnel et cognitif très éloigné des relations perceptives entre propriétés musicales et propriétés de mouvement corporel.

La méthode de description verbale de la musique montre des limites qui ont probablement restreint les tentatives de recherche. L'idée que la musique ne peut être entièrement exprimée par des mots a été énoncée à maintes reprises. Ainsi, D. N. Stern évoque¹⁹ la difficulté voire l'impossibilité à mettre des mots précis sur des notions dynamiques. Le langage musical et l'expressivité musicale sont subtils, abstraits, complexes. L'aspect de *mouvement* dans la musique est peu verbalisable, de l'ordre de l'indicible, pour des raisons affectives ou cognitives car il serait constitué de ces aspects de l'activité sensori-motrice ou cognitive qui ne pourraient, par nature, s'exprimer en mots bien qu'étant conscients, comme les automatismes moteurs très conscientisés mais quasiment inexprimables verbalement dans la musique, le sport, le travail répétitif. Les médias non discursifs offrent des formes de pensée qui semblent particulièrement adaptées pour l'expression d'idées qui défient la communication linguistique. En outre, la description corporelle permet le recueil des observables en temps réel alors que la description sémantique de la musique se produit en différé. En l'occurrence, on note que pour l'auditeur, le délai nécessaire à la description d'un rythme au moyen de symboles est au moins double à celui nécessaire à sa reproduction²⁰. Ce fait confirme le caractère holistique de la perception rythmique et la compatibilité entre patterns perçus et patterns moteurs.

¹⁹ STERN, Daniel N., *Les formes de vitalité, Psychologie, arts, psychothérapie et développement de l'enfant*, Paris, Odile Jacob, 2010, p. 58.

²⁰ OLÉRON, Geneviève, « Influence de la répétition sur la structuration temporelle des mouvements d'accompagnement de la musique », *L'Année psychologique*, Volume 56, 1956, p. 13-26.

2.2 Description corporelle du rythme et de son *mouvement*

L'étude du *mouvement* relatif à la musique a débuté à la fin du XIX^e siècle d'un point de vue intuitif²¹ impliquant des analyses musicales et phénoménologiques et l'interprétation herméneutique. Après 1920, des méthodes expérimentales et les données empiriques basées sur l'observation et les mesures ont été prises en compte. La technique principale pour montrer que la musique transmet l'information de *mouvement* est la restitution par un auditeur d'un mouvement dans l'espace. Les recherches sur les correspondances entre des aspects dynamiques dans la musique et le mouvement corporel se sont accrues au cours de XX^e siècle mais les essais qui visent à montrer une relation cinématique entre musique et mouvement étaient relativement limités pour des raisons techniques. De récentes avancées théoriques et technologiques ont provoqué la multiplication des recherches qui alimentent actuellement le courant de la cognition musicale incarnée.

Cette revue de questions sur la notion de *mouvement* dans le rythme musical s'intéresse en particulier aux recherches empiriques qui étudient les liens établis par l'auditeur entre caractéristiques rythmiques sonores et propriétés corporelles dynamiques. Elle vise à relever les objectifs, thèses, concepts et méthodes de recherche, et à répertorier les données émanant des résultats expérimentaux sur les relations entre des caractéristiques rythmiques et des caractéristiques de mouvements produits par l'auditeur. Sur le plan musical, certaines recherches étudient un matériau écologique, i.e. des extraits d'œuvres musicales, et sur le plan du comportement moteur, adoptent une méthode de rapprochement des déroulements dynamiques de formes sonores avec des formes de mouvements corporels de grande motricité. Cependant, la majorité des travaux empiriques étudie des mouvements d'accompagnement plus restreints tels que les mouvements du bras ou avant-bras, de la main et des doigts. Les relations d'analogie entre musique et mouvements corporels sont fondées sur la prémisse que ces deux modalités peuvent potentiellement communiquer des qualités structurales et expressives similaires. Le corps agirait comme un filtre pour le codage du mouvement musical, comme un transducteur²². Dans de nombreux cas, les mouvements du corps peuvent exprimer des propriétés structurales de la musique, ou d'autres propriétés, comme des objets s'approchant ou s'éloignant, des propriétés sensibles des objets²³. Ces

²¹ A. SCHNEIDER, « Musique et geste : une introduction historique et une revue des récentes recherches », in GODØY, Rolf Inge and LEMAN, Marc (ed.), *Musical Gestures Sound, Movement, and Meaning*, New York, Routledge, 2010, p. 84.

²² Dispositif de transformation d'une grandeur physique ou d'une énergie en une autre qui est fonction de la première. Dictionnaire Larousse.

²³ Comme la sensation de rugosité ou de volume.

mouvements peuvent avoir divers degrés de sophistication et peuvent être spontanés ou planifiés, naturels aussi bien que conventionnels²⁴. On s'intéresse ici en priorité aux données qui concernent le rythme et les mouvements de motricité fine de l'auditeur, recherchant quelles caractéristiques musicales et corporelles, rythmiques et graphiques, sont mises en correspondance par l'auditeur.

Son	Mouvement corporel d'accompagnement		
	Grande motricité	Motricité fine	
	Corporel : danse/chorégraphie	Manuel	Graphique
Stimuli sonores <i>Mouvement sonore</i>			
Musique <i>Mouvement musical</i>			
Rythme musical <i>Mouvement rythmique</i>			Relations ? Caractéristiques ?

Tableau 10: Domaines d'étude des correspondances musicales, rythmiques, et corporelles, graphiques

2.2.1 Description de la musique par les mouvements corporels de grande motricité

Chez l'auditeur, les réponses corporelles à la musique sont recherchées au niveau de la grande motricité par des mouvements de danse.

2.2.1.1 Mouvements de danse

En 1920, E. Jaques-Dalcroze souligne l'importance de l'aspect dynamique de la musique en rapprochant la « rythmique » et « la plastique animée », considérant ces deux arts comme essentiellement d'ordre dynamique. L'auteur convient d'appeler

« *mouvement musical* tout mouvement obéissant aux lois dynamiques qui régissent la musique. »²⁵

Il établit des rapports entre éléments fondamentaux de la musique et de la plastique animée qui ont pour seuls éléments communs la mesure et, approximativement, le rythme :

²⁴ LEMAN, Marc, STYNS, Frederik and BERNARDINI, Nicola, "Sound, Sense and Music Mediation : a Historical-Philosophical Perspective", *Sound to Sense, Sense to Sound, A State of the Art in Sound and Music Computing*, ed. Pietro Polotti and Davide Rocchesso, Berlin, Logos Verlag Berlin, 2008, p. 15-46.

²⁵ JAKUES-DALCROZE, Emile, *Le rythme, la musique et l'éducation*, Paris, Fischbacher, 1920, réed. Foetisch, Genève, 1965, p. 142.

Musique	Plastique animée
Durée	Durée
Mesure	Mesure
Rythmique	Rythmique
Silence	Arrêt
Phrasé	Phrasé
Intensité	Dynamisme musculaire
Construction (forme)	Distribution des mouvements dans l'espace et la durée
Timbre	Diversité dans les formes corporelles
Élévation des sons	Situation et orientation des gestes dans l'espace
Mélodie	Succession continue de mouvements isolés
Contrepoint	Opposition de mouvements
Accords	Fixation de gestes associés (ou de gestes en groupes)
Succession d'harmonies	Succession de mouvements associés (ou de gestes en groupes)
Orchestration	Opposition et combinaisons de formes corporelles variées

Tableau 11: Relations établies entre propriétés musicales et propriétés de la plastique animée

L'étude de la technique corporelle – différenciation des articulations, contractions et décontractions musculaires, équilibre, assouplissement et élasticité – s'impose en ses rapports à la dynamique musicale, aux nuances de force. La dynamique du mouvement s'allie à l'agogique, les nuances de force étant souvent inséparables de celles de vitesse.

En 1992, dans le champ interdisciplinaire des études choréomusicales, P. Hodgins détermine²⁶ deux catégories de parallèles entre musique et mouvements de danse : des relations extrinsèques impliquent un contexte narratif ou culturel, la connaissance de l'intrigue, de la danse ou de la musique ; des relations intrinsèques, indépendantes du contexte, plus facilement observables se répartissent en six catégories principales : rythmique (accent, mètre) ; dynamique (amplitude du geste musical et choréographique) ; texturale (nombre d'instruments ou d'interprètes, homophonie/polyphonie, contrepoint) ; structurale (correspondance de motifs -figure, phrase, structure) ; qualitative (tessiture, timbre, articulation, dissonance/consonance) ; mimétique (imitation d'un son particulier).

La relation transmodale des caractéristiques de la musique et des mouvements est exemplifiée par des études de corrélation entre tension musicale perçue et tension transportée par le mouvement humain. Ainsi, en 1994, E. Ferrara et J. Tafuri étudient²⁷ des patterns cinétiques dans les réponses dansées d'enfants sur le *Caprice* n°24 de N. Paganini, filmant des enfants de 7-8 ans qui écoutent et dansent sur la musique suivant ce qu'elle leur suggère. L'expérience est répétée deux fois. La notation des mouvements effectués par les enfants est

²⁶ HODGINS, Paul, *Relationships between score and choreography in twentieth-century dance: music, movement and metaphor*, E. Mellen Press, Lewiston, New York, 1992.

²⁷ FERRARA, Elena et TAFURI, Johannella, "Kinetic patterns in children's responses to music", Actes de la 3^e Conférence Internationale pour la *Perception et cognition musicales*, éd. Irène Deliège, Université de Liège, Juillet 1994, p. 328-330.

ensuite rapprochée de l'analyse des fragments musicaux correspondants²⁸. Les réponses motrices à la musique permettent d'identifier les concepts musicaux présents dans les patterns cinétiques des mouvements enfantins, notamment les durées, intensité, organisation rythmique, tempo, amplitude des intervalles, direction élévation/chute, cadences. L'étude précise des relations établies entre caractéristiques musicales et caractéristiques des mouvements corporels :

Caractéristiques musicales	Caractéristiques de mouvements dansés
<i>Lento/allegro</i>	Lent/rapide
<i>Piano/forte</i> Petits/grands intervalles	Etroit/ample
Rythme régulier/irrégulier	Régulier/irrégulier
<i>Piano/forte</i> Sons accentués/non accentués Registre haut/bas	Léger/lourd
<i>Legato/staccato</i> Notes conjointes/éloignées Echelles/arpèges	Continu/saccadé
<i>Legato/staccato</i>	Souple/rigide
<i>Piano/forte</i> Sons non accentués/accentués Registre haut/bas	Relâché/tendu
Ligne mélodique ascendante/descendante	Etiré/rétracté
Arpèges	Elévation/chute
<i>Portamenti</i> lents	Tournoyant
Accentuations, arpèges	Glissant, rampant
Cadences, répétitions	Bondissant
	Changement de direction

Tableau 12: Relations entre caractéristiques musicales et caractéristiques de mouvements dansés

Les correspondances musique-corps sont complexes, multiples et plurivoques. La relation entre ces deux ensembles est une fonction multivaluée²⁹ : à une caractéristique sonore correspondent plusieurs caractéristiques corporelles.

En 1997, C. L. Krumhansl et D. L. Schenk étudient les relations entre musique et danse considérant que la danse ne mime pas la musique mais que

« [...] le 'sentiment cinétique' de base ou la 'forme d'énergie' de la musique est exprimé par la danse. »³⁰

²⁸ La démarche est statistique : les chercheurs prennent en compte le choix moteur relatif aux mêmes aspects musicaux observés par au moins 60% des enfants.

²⁹ En mathématiques, une fonction multivaluée est une relation qui à un élément d'un ensemble associe un ou plusieurs éléments d'un second ensemble.

³⁰ KRUMHANSL, Carol L. and SCHENCK, Diana Lynn, "Can dance reflect the structural and expressive qualities of music ? A perceptual experiment on Balanchine's choreography of Mozart's Divertimento No. 15", *Musicae Scientiae*, (1), 1997, p. 65.

En dépit du manque d'études empiriques, les auteurs estiment que des parallèles entre musique et mouvements corporels peuvent être trouvés dans le tempo, les dynamiques, la texture, le contour et la structuration d'unités formelles organisées hiérarchiquement à large échelle. Elles mesurent chez des auditeurs l'évaluation continue du degré de tension dans une pièce musicale et constatent que leurs notations de tension musicale concordent avec les notations de tension corporelle de spectateurs d'une chorégraphie créée sur cette même musique³¹, alors que les auditeurs n'ont pas vu la danse et que les spectateurs n'ont pas entendu la musique. Ces résultats suggèrent que les fluctuations de tension transportées par les paramètres de mouvement corporel sont corrélées avec les fluctuations de tension associées aux paramètres musicaux.

E. Haga effectue en 2008 une analyse des similarités entre musique et mouvements corporels dansés selon des propriétés spécifiques³². Une série d'observations est menée auprès d'auditeurs danseurs professionnels. Les pieds rivés au sol, ils effectuent des mouvements libres³³ sur des extraits musicaux choisis pour leurs propriétés saillantes variées. Les résultats indiquent que les correspondances musique-mouvement émergent quand l'activation globale change de façon similaire dans la musique et dans le mouvement. Les danseurs partagent un ensemble de caractéristiques gestuelles avec toutefois une variété croissante de détails quand la musique devient plus complexe ou moins clairement périodique. En cas de faible périodicité³⁴, ils ont tendance à apporter leur propre complément à la musique en variant des éléments de mouvements issus de performances antérieures. Dans les sessions où les extraits sont répétés plusieurs fois, ils semblent se souvenir de ce qu'ils ont fait précédemment et enrichissent leurs gestes en explorant de nouvelles possibilités de mouvement. Dans les études de danse libre, il semble y avoir une forte correspondance entre les différents danseurs. Par exemple, sur un extrait³⁵ dominé par des changements sonores lents et continus, tous les danseurs font des mouvements lents et amples mais chacun suivant des trajectoires différentes : il y a convergence dans l'effort et divergence géométrique.

En 2008, D. Feilane et C. Tijus tentent une classification³⁶ condensée des formes de mouvements communes aux disciplines de danse et étudient leurs rapports aux Unités Sémiotiques Temporelles. Ils émettent l'hypothèse de l'existence d'UST chorégraphiques et de

³¹ Le danseur s'appuie sur le style, le rythme et les qualités expressives de la musique. Ses mouvements sont suggérés par le matériel motivique.

³² HAGA, Egil, *Correspondences between Music and Body Movement*, Ph. D. Thesis, Department of Musicology, University of Oslo, 2008, www.duo.uio.no, le 01/12/2013.

³³ Mouvements des doigts, des mains, des bras, de la tête, du torse.

³⁴ Dans les passages de sons continus, non pulsés.

³⁵ Ouverture du Mouvement lent *Molto sostenuto e calmo* des *Dix pièces pour quintette à vent* de Ligeti.

³⁶ *Vers une sémiotique générale du temps dans les arts*, Actes du colloque "Les Unités Sémiotiques Temporelles (UST), nouvel outil d'analyse musicale : théories et applications" Marseille 7-9 décembre 2005, sous la direction de Emmanuelle Rix et Marcel Formosa, Coédition Ircam - Centre Pompidou/Delatour France, 2008.

leur correspondance avec les UST musicales, supposant que si la musique peut être objectivement décomposée en UST, alors « danser la musique » peut l'être également. Puisque la danse se déroule dans le temps selon des variations de formes du corps en mouvement, elle peut être décrite par la succession d'un petit nombre de variations temporelles fondamentales. Ces figures temporelles de mouvements corporels peuvent être mises en relation avec les UST. Dans une première étape, les auteurs recensent sept familles de mouvements chorégraphiques³⁷ (marche, course, tour, chute, saut, équilibre, battement). Chaque mouvement est caractérisé par sa forme, son énergie, son espace, son tempo, et fait l'objet d'une description de son déroulement³⁸. Des relations sont établies entre mouvements de danse et UST :

Mouvements chorégraphiques	UST
Chute ; équilibre	<i>Chute</i>
Saut ; tour	<i>Qui tourne</i>
Marche ; tour	<i>Qui avance</i>
Battement ; course	<i>Par vague</i>
Equilibre	<i>En suspension</i>
Chute	<i>Etirement</i>
Course ; marche	<i>Trajectoire inexorable</i>
Battement	<i>Qui veut démarrer</i>
Course	<i>Sans direction par divergence d'information</i>
Tour	<i>Contracté-étendu</i>
Battement ; chute ; équilibre ; saut	<i>Elan</i>

Tableau 13: Relations entre mouvements de danse et UST

Les résultats indiquent que la relation danse-musique n'est pas univoque : un même mouvement chorégraphique peut évoquer plusieurs UST, une même musique peut être diversement dansée. Par ailleurs, des UST peuvent n'évoquer aucun mouvement. Des difficultés théoriques et pratiques apparaissent du fait des contraintes spécifiques à la danse : d'une part, le corps du danseur a des dimensions, des contraintes physiques et spatiales de gravité que n'a pas la musique ; d'autre part, on note des problèmes de segmentation visuelle du mouvement observé ou de point de vue et d'interprétation du geste chorégraphique selon la position de l'observateur. Des UST pour la danse devraient donc comporter des indicateurs, *i.e.* la position au sol comme point initial et terminal.

³⁷ La classification est établie à partir de la notion d'axe qui sert à déterminer la forme du corps en mouvement.

³⁸ Par exemple, « *ChuteAvecElanEnRoulant* : Une personne debout, saute en montant un bras et chute (sur l'axe) accroupie et roule du côté de la jambe qu'elle a pliée. » in *Vers une sémiotique générale du temps dans les arts*, p. 302.

2.2.1.2 Relations entre propriétés musicales rythmiques et propriétés des mouvements de grande motricité

Dans leur ensemble, les résultats de ces recherches montrent que les correspondances entre musique et mouvements dansés sont complexes, multiples et plurivoques. On ne relève pas de contradictions entre les différents résultats mais un affinement des données concernant les relations entre propriétés rythmiques et propriétés des mouvements de grande motricité :

Propriétés musicales rythmiques	Propriétés des mouvements de grande motricité
Durée	Durée
Mesure	Mesure
Mètre, pulsation	Mètre, pulsation
Silence	Arrêt
Intensité <i>Forte/piano</i>	- Dynamique musculaire Amplitude des gestes et Vitesse - Ample/étroit Tendu/Relâché Lourd/léger
Accents Sons accentués/non accentués	Tendu/Relâché Léger/lourd
Articulation <i>Legato/staccato</i>	Amplitude et vitesse de gestes - Souple/rigide Continu/saccadé
Timbre	Diversité dans les formes corporelles
Tempi <i>Lento/allegro</i>	Lent/rapide
Rythmes régulier/irrégulier	Régulier/irrégulier
Cadences, répétitions	Changement de direction
Motif : figure, phrase, structure	Motif : figure, phrase, structure
Construction (forme)	Distribution des mouvements dans l'espace et la durée
Changements lents et continus	Lenteur et amplitude

Tableau 14: Relations établies par l'auditeur entre propriétés musicales et propriétés de mouvements de grande motricité

2.2.2 Mouvements du bras et de la main de l'auditeur

La description de la musique par le mouvement corporel a été majoritairement conduite avec des méthodes d'analyse de mouvements restreints aux bras, à la main et aux doigts de l'auditeur, mouvements considérés comme des actions délibérées. On établit trois générations de recherches au cours des XX^e et XXI^e siècles sur les relations entre caractéristiques musicales et caractéristiques de mouvements du bras et de la main. Une première génération de chercheurs allemands produit des travaux pionniers durant la première moitié du siècle dernier. Leurs contributions empiriques sont limitées et méthodologiquement peu sophistiquées. Cependant, ces travaux, plutôt spéculatifs, peuvent être considérés selon la perspective scientifique actuelle. En effet, la pertinence des idées, la profondeur et la largeur

de vue de ces auteurs nourrissent certaines hypothèses de recherches contemporaines sur la compréhension de la nature du *mouvement* musical et sur la communication du *mouvement* sonore, de la performance à la réception de la musique. Au cours des années 50, des travaux en psychologie de la musique ont contribué à la problématique de la perception du *mouvement* musical lié au rythme. Dans les années 70, une deuxième génération de recherche bénéficie de progrès liés au développement des recherches et des avancées technologiques et précise certaines idées des pionniers par des travaux empiriques sujets à des tests rigoureux. A la fin du XX^e siècle, la thèse de la relation esprit-matière médiatisée par le corps humain est alimentée par une réflexion renouvelée sur les connexions entre perception et action qui fonde la théorie de la cognition incarnée. Cette approche théorique appliquée en musicologie impulse l'actuelle génération de travaux féconds sur les liens entre musique et mouvement. Des méthodes scientifiques informatiques sont incluses aux programmes de recherche qui contribuent à enrichir la conception du *mouvement* dans la musique. L'ensemble de ces travaux esquisse un courant de recherche sur la cognition musicale incarnée, en particulier dans le domaine de l'écoute musicale.

2.2.2.1 Première moitié du XX^e siècle : les pionniers allemands

Dans les années 30, le musicologue allemand A. Truslit consacre un ouvrage³⁹ majeur sur le *mouvement* dans la musique. Sa réflexion théorique et méthodologique s'appuie sur les travaux de deux précurseurs contemporains, E. Sievers et G. Becking, dont il est utile de présenter succinctement les principaux apports scientifiques préliminaires.

- **Mouvements accompagnateurs des sons parlés**

Le premier essai moderne⁴⁰ utilisant une technique de mouvements accompagnateurs des sons de façon systématique peut être crédité au linguiste et philologue allemand E. Sievers. En 1924, il s'intéresse à l'aspect sonore de l'objet littéraire dans le cadre de ses recherches phonétiques et aboutit à la production d'un système d'analyse du son. A l'appui d'observations⁴¹ du chanteur et professeur de chant J. Rutz sur les connexions entre la posture du corps et la qualité de la voix, il constate que certaines postures sont inhibitrices de la production vocale tandis que d'autres, facilitatrices, lui donnent une qualité de liberté. Il

³⁹ TRUSLIT, Alexander, *Gestaltung und Bewegung in der Musik, Ein tönendes Buch vom musikalischen Vortrag und seinem bewegungserlebten Gestalten und Hören*, Berlin-Lichterfelde, Chr. Friedrich Vieweg, 1938.

⁴⁰ SIEVERS, Eduard, *Ziele und Wege der Schallanalyse*, Heidelberg, Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, 1924. 'Buts et moyens de l'analyse du son'.

⁴¹ Observations publiées par son fils O. Rutz en 1911 et 1922.

applique une technique de mouvements accompagnateurs de discours et de récitation de poésies, élaborant un système de mouvements qui peuvent être effectués par l'orateur pendant son discours à l'aide d'un bâton, des bras ou de l'index. Le but de la méthode est de produire des mouvements libres et désinhibés qui interfèrent le moins avec – ou facilitent le plus – la récitation du texte. E. Sievers ne fournit qu'un aperçu de sa méthode complexe d'interprétation cinématique de sons⁴² qui concerne la posture et le mouvement du corps comme moyen de reconstruction et d'analyse de la forme expressive du son de la langue écrite. Ayant observé que les mouvements corporels sont rythmiquement coordonnés avec le discours et qu'ils ont un caractère cyclique, il produit une typologie en déterminant deux classes de courbes qui peuvent être combinées : les courbes générales dites *courbes de Becking*⁴³ (cf. dans la figure *infra*, *Beckingcürven*) se déclinent en trois types qui épuisent les possibilités en deux points d'inflexion (pointu-arrondi, arrondi-arrondi et pointu-pointu) et sont considérées comme les plus constantes chez l'homme pensant ou agissant ; les courbes particulières dites *de remplissage* (cf. dans la figure *infra*, *Taktfüllcürven*) sont extrêmement variées. Elles sont attachées à certaines actions de l'individu et reflètent la métrique et les propriétés sonores d'un texte parlé.

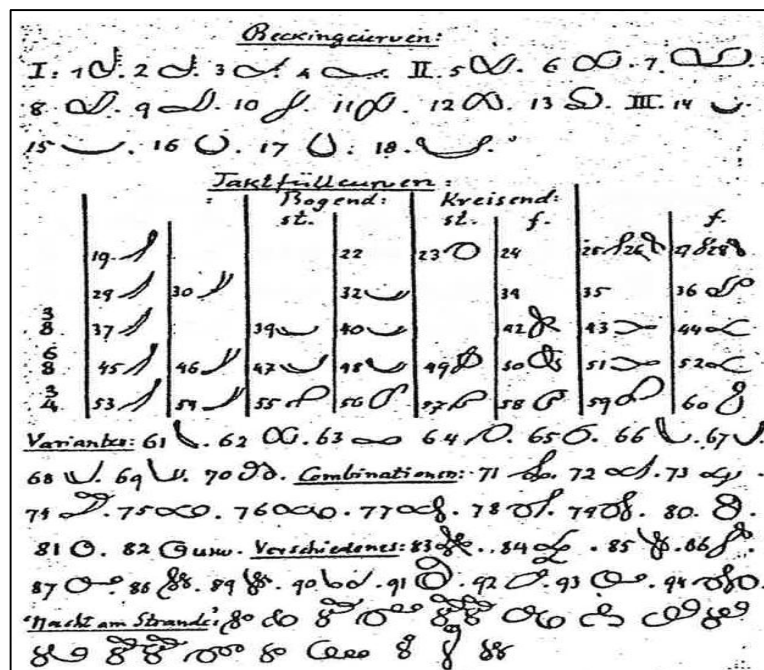


Figure 4: Courbes de mouvement utilisées par E. Sievers⁴⁴

⁴² Die *Schallanalyse*.

⁴³ E. Sievers attribue la découverte de ces courbes à G. Becking, jeune professeur de musicologie avec lequel il collabore sur des recherches concernant les structures du rythme en musique.

⁴⁴ En haut : courbes générales. Au centre : courbes spéciales (rectilignes, courbes, circulaires, bouclées). En bas : courbes variées, combinées, et interprétation cinématique du poème « *Die Nacht am Strande* » de Heinrich Heine, E. Sievers, 1924, reproduit in REPP, Bruno H., « Musical Motion : Some Historical and Contemporary Perspectives », *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, SR-114, 1993, p. 169.

Chaque orateur est caractérisé par l'un de ces types comme un mode d'expression dynamique au moins préféré et donc par un « type de voix » correspondant, chaque type admettant un grand nombre de variations. Seul maître reconnu de sa technique, E. Sievers déclare être doué d'une sensibilité motrice extraordinaire qui, combinée à de nombreuses années d'entraînement et d'observation, lui permet de trouver des mouvements accompagnant les plus subtiles variations de la forme sonore de textes parlés, comme dans le cas suivant :

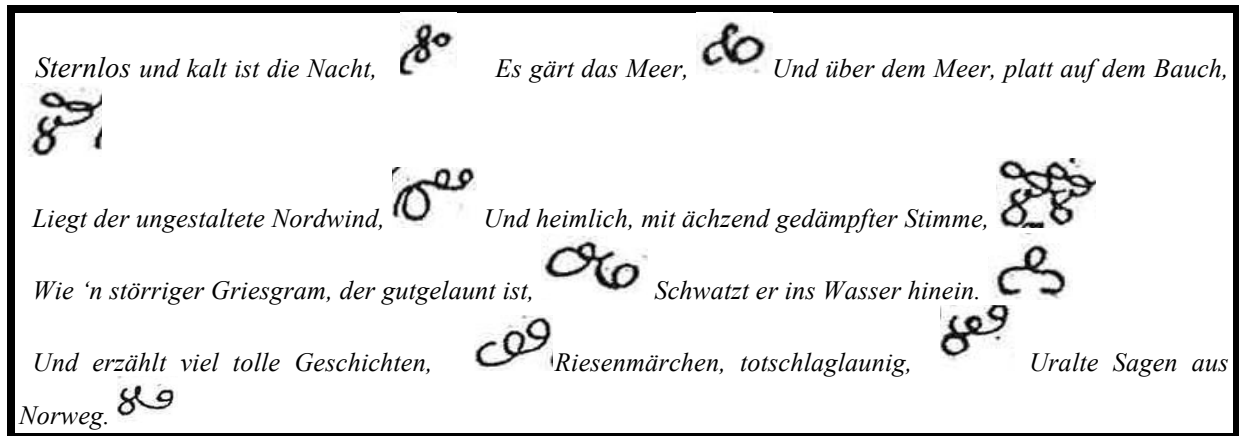


Figure 5: Interprétation cinématique par E. Sievers de la première strophe du poème *Die Nacht am Strande* d'H. Heine

L'expertise d'E. Sievers ne peut être mise en doute. Toutefois, la subjectivité de sa méthode en réduit la respectabilité scientifique. L'idée de base sous-tendue – le déroulement dynamique temporel de patterns sonores rythmiques peut être traduit dans des mouvements corporels accompagnateurs – reste de valeur mais les règles gouvernant cette traduction sont demeurées obscures.

- **Flux rythmique dynamique**

Le musicologue G. Becking condense ses recherches sur le mètre et le rythme dans une monographie⁴⁵ parue en 1928. Il s'intéresse au rythme en musique comme un déterminant de l'individualité. Son hypothèse pivot est qu'il existe un flux rythmique dynamique sous la surface musicale. Ce mouvement continu de haut en bas connecte des points de gravité métrique dont le poids relatif varie. L'originalité de sa thèse est que la distribution de ces poids varie d'un compositeur à l'autre. Il recourt à la technique d'analyse tirée de la méthode de E. Sievers pour déterminer les points de gravité métrique et leurs poids relatifs⁴⁶. G. Becking introduit le concept de *Mitbewegung*, des mouvements accompagnateurs induits

⁴⁵ BECKING, Gustav, *Der musikalische Rhythmus als Erkenntnisquelle*, Ausburg, Benno Filser, 1928.

⁴⁶ Il précise que pour comprendre le type de mouvements inhérents à une œuvre musicale, il est nécessaire se laisser conduire par l'œuvre plutôt que d'essayer de la diriger.

par l'écoute d'une pièce musicale. Les traits distinctifs de la pulsation des compositeurs sont étudiés lors de l'écoute par l'accompagnement de mouvements exécutés avec une baguette lumineuse. Après avoir observé la combinaison des patterns rythmiques avec des mouvements corporels, l'auteur répertorie trois mouvements fondamentaux qui expriment les patterns de mouvements inhérents à un grand nombre d'œuvres d'un même compositeur.

Historische Tabelle der Schlagfiguren.
(Die Kurven können nur andeutungsweise, die Anweisungen nur unvollständig gegeben werden.)



















Typus	Der vorklassische Rhythmus in Deutschland					Der klassische Rhythmus in Deutschland						
	Barock (kursorisch)		Aufklärung			Klassik			Romantik			Wagner
	Generation von 1580	Generation von 1680	Rokoko	Rationalismus	Sturm und Drang	1. Klassiker	2. Klassiker	3. Klassiker	1. Generation	2. Generation	3. Generation	
I		 Arm! Die Abstriche barock aushöhlend Händel				 Herzhaft abwärts Haydn	 Selbstverständlich abwärts. Sorgfältig getönt Mozart			 Führen und Schwingen Schubert		
II	 Schulter! starr Schütz	 Arm! Gebunden schwingend Telemann	 Hand! Frei schaukelnd Hasse	 Ohne Schnörkel. Schlicht Ph. E. Bach				 Tief abwärts zwingen Beethoven	 Herziehen und Wegschieben Hoffmann	 Links und rechts ausschwingen Weber	 Herziehen und Wegschieben Schumann	
III	 Schulter! starr M. Franck	 Arm! Die Abstriche barock aushöhlend J. Seb. Bach		 Nicht aushöhlend. Spröde Gluck	 Explosionen Stamitz					 Überfein Mendelssohn	 Flackriger Druck Wagner	

Figure 6: Courbes caractéristiques de compositeurs selon G. Becking⁴⁷

Types de « courbes personnelles »

Type I : La courbe de compositeurs⁴⁸ de la « famille de Mozart » est en forme de club de golf. L'apparition brutale et pointue du temps fort dans un tracé rectiligne et généralement vertical est guidée activement et ne tombe pas passivement. Ce pattern présente de fortes différenciations d'accents rythmiques et une forme dynamique organique.

Type II : La courbe de compositeurs⁴⁹ de la « famille de Beethoven » a la forme du symbole représentant l'infini. Le temps fort apparaît dans une forme arrondie, une courbe repliée sur

⁴⁷ G. Becking, 1928, in REPP, Bruno H., *op. cit.*, 1993, p. 171.

⁴⁸ Haendel, Haydn, Schubert, Bruckner et la plupart des compositeurs italiens.

⁴⁹ Weber, Schumann, Brahms, Strauss et les maîtres allemands.

elle-même, et une figure similaire remontant à son tour vers l'extérieur. Les différences d'accentuation parmi les subdivisions métriques tendent à être réduites.

Type III : La courbe de compositeurs⁵⁰ de la « famille de Bach » est en forme de coupe. L'apparition d'un temps fort pointu avec un retour pointu résulte en un mouvement courbe semi-circulaire et pendulaire, de droite à gauche. Les principaux accents sur les temps forts et les accents secondaires également forts forment un cadre rythmique rigide.

Selon G. Becking, ces trois courbes générales expriment la manière dont se développe la tension psychique à la base de toute action humaine. L'auteur a pour but ultime de lier une typologie des constantes personnelles des compositeurs à une typologie de leurs visions du monde⁵¹ : il considère que les courbes personnelles indiquent une gestion de la gravité propre au compositeur et reflètent son attitude philosophique⁵² suivant cette réalité physique.

De même que la méthode de E. Sievers, la méthode de détermination des courbes personnelles de compositeurs de G. Becking paraît hautement subjective. Elle requiert une connaissance approfondie aussi bien des œuvres que des grands interprètes et des détails biographiques qui aident à connaître la personnalité de l'artiste. Or, l'ajustement subjectif de la courbe à une pièce n'est pas nécessairement parfait, en particulier quand cette dernière est une création atypique. D'autre part, la connaissance de la courbe personnelle du compositeur, vérifiée sur les œuvres les plus caractéristiques, permet à l'interprète d'imprégner des œuvres moins caractéristiques de l'identité du compositeur. Cette méthode circulaire semble peu rigoureuse sur le plan scientifique. Enfin, même si ces courbes s'appliquent à certaines œuvres en tout ou partie, il paraît douteux que la variété des travaux créés par un compositeur aussi bien que cette pulsation personnelle puissent être représentées par une simple courbe. Ce réductionnisme affaiblit la modélisation de G. Becking. Néanmoins, le concept de mouvements sympathiques et la technique d'enregistrement de ces mouvements sont deux apports remarquables sur lesquels s'appuient les travaux subséquents de A. Truslit.

- **La musique comme *mouvement***

Publiée en 1938, la monographie de A. Truslit, *Gestaltung und Bewegung in der Musik*⁵³, semble avoir été oubliée dès sa parution⁵⁴. A. Gabrielsson y fait référence⁵⁵ et

⁵⁰ Mendelssohn, Chopin, Wagner, Mahler et d'autres compositeurs, français.

⁵¹ 'Weltanschauungen'.

⁵² Les compositeurs de la « famille de Mozart » sont dits monistes en ce qu'ils obéissent largement à la force physique de la gravité, aussi bien qu'idéalistes, parce qu'ils imposent activement une forme dynamique personnelle. Ceux de la « famille de Beethoven » sont dits dualistes car ils opposent la force matérielle à leur propre force ou volonté spirituelle, aussi bien qu'idéalistes, en ce qu'ils imposent une forme dynamique organique sur la première pulsation. Ils visent à surmonter la pesanteur et la forcent dans des voies sinueuses. Enfin, les compositeurs de la « famille de Bach » sont dits naturalistes parce qu'ils suivent la force de gravité sans s'y opposer ni lui imposer d'impulsion.

⁵³ TRUSLIT, Alexander, *op. cit.*

B. Repp produit un rapport synthétique⁵⁶ sur l'importante contribution théorique de ce pédagogue de la musique dont la pensée est systématique, le style, concis et puissant, et les idées, originales et cohérentes, certaines anticiplant de plusieurs décennies des développements de la psychologie de la musique.

A. Truslit se situe dans la même lignée de recherche que ses prédécesseurs dont il souligne l'intérêt des travaux :

« L'importance des groupes Rutz-sievers qui établit la marche parallèle entre l'affection physique et le mental et le spirituel a en tout cas ouvert un nouvel accès à l'œuvre d'art. »⁵⁷

L'auteur vise à approfondir l'étude des liens entre musique et corps. Il présente une vision large et approfondie sur le *mouvement* musical, concept à la fois générateur du musical et fédérateur des activités y afférant. Ses recherches sont orientées vers deux aspects définitionnels intimement liés, le *mouvement* propre de la musique et le *mouvement* sonore par l'expérience musicale du musicien et de l'auditeur. En étudiant la signification de la relation entre musique et *mouvement* dans les mécanismes de production et de réception de la musique, A. Truslit élargit considérablement le champ de recherche sur le *mouvement* musical. Il porte d'importants éclairages sur les caractéristiques du *mouvement* de la musique, sur le rôle du musicien dans la formation du *mouvement* sonore et sur les phénomènes d'écoute qui lui sont liés. Il soutient trois hypothèses majeures logiquement ordonnées :

- La nature du *mouvement* musical : il a une forme fondée sur le mouvement *naturel* des objets et peut donc être exprimé par des formes visuelles, *i.e.* par des courbes.
- La production de *mouvement* musical : le musicien peut « façonner » artistiquement la musique à partir de ces formes de mouvement et créer un *mouvement* sonore musical.
- La réception de *mouvement* musical : l'auditeur perçoit le *mouvement* de la musique par le truchement de l'expérience motrice du musicien.

➤ **Nature du *mouvement* musical**

« Le mouvement est l'élément fondamental de la musique et de sa conception. »⁵⁸

Le *mouvement intérieur*⁵⁹ est la caractéristique essentielle de la musique, « la force conductrice de la musique ». C'est à la fois une émotion et une sensation de mouvement réel.

⁵⁴ Peut-être du fait des bouleversements politiques de l'époque.

⁵⁵ GABRIELSSON, Alf, *op. cit.*

⁵⁶ REPP, Bruno H., "Music as Motion : A Synopsis of Alexander Truslit's (1938) « Gestaltung und Bewegung in der Musik »", *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, SR-111/112, 1992, p. 265-278.

⁵⁷ Traduction de l'auteur. "Das bedeutsame, von der Gruppe Rutz-Sievers festgestellte Parallelgehen des körperlichen Geschehens mit dem geistigen und seelischen hat jedenfalls einen neuen Zugang zum Kunstwerk gewiesen.", TRUSLIT, Alexander, *op. cit.*, p. 25.

⁵⁸ Traduction de l'auteur. « Die bewegung ist das Urelement der Musik und der Gestaltung. », *op. cit.*, p. 72.

Il doit être distingué des vibrations acoustiques, de la résonance sympathique, des mouvements techniques du jeu instrumental, de la séquence de notes et des mouvements de direction. Contrairement à G. Becking selon lequel la dynamique personnelle des compositeurs prend une place *sous* la surface musicale, A. Truslit focalise l'attention sur l'information *dans* le pattern sonore et prétend que chaque œuvre musicale a sa propre séquence de *mouvements*. L'origine du *mouvement* musical se situerait dans le mouvement physique des objets qui comporte des éléments mécaniques⁶⁰ et acoustiques. Sur ce dernier plan, le mouvement des objets provoque généralement des sons dont le développement dynamique informe sur la trajectoire : plus le mouvement est proche, plus le son est fort. Plus il est rapide, plus le son est aigu. Des changements de timbres peuvent également apparaître. Si un mouvement peut être reconnu par ses dynamoagogiques, alors il peut également être représenté par ces éléments. L'auteur en déduit que tout mouvement peut être exprimé acoustiquement et musicalement.

Le mouvement musical, forme vivante

Les dimensions acoustiques dynamiques et agogiques associées au mouvement des objets sont impliquées dans la performance musicale. Parmi les éléments acoustiques qu'un musicien manipule dans une performance – hauteur, timbre, intensité, durée – les deux derniers sont les plus importants. La musique jouée avec des notes d'intensité égale et de durée exacte est mécanique, sans vie : ce sont les variations d'intensité et de durée qui créent les formes vivantes dans la musique. La mise en forme artistique de l'intensité est appelée la *dynamique*, celle des durées, l'*agogique*. A. Truslit considère que les dynamiques et agogiques musicales sont l'expression des processus de *mouvements*. De même que l'espace et le temps sont inséparables dans un mouvement physique, la dynamique et l'agogique sont toutes deux nécessaires au *mouvement* musical. Elles doivent s'harmoniser mutuellement et sans contradiction. Les variations d'intensité et de vitesse sont la manifestation de changements d'énergie du *mouvement*. Par conséquent, il ne suffit pas d'exécuter un *crescendo* en augmentant l'intensité des notes de manière arbitraire : le développement dynamique doit survenir comme l'expression d'un mouvement naturel. Dans ce cas, l'agogique appropriée apparaît également, rendant l'expression musicale éloquente et vivante. En somme, si le développement dynamo-agogique du son correspond à un mouvement naturel, cela évoquera l'impression de ce mouvement.

⁵⁹ 'Die innere Bewegtheit'.

⁶⁰ Chaque mouvement démarre avec une impulsion ou une énergie qui lui donne sa direction et sa vitesse. Ces propriétés sont modifiées par les résistances de l'environnement et par le mouvement du corps lui-même. En observant la trajectoire du mouvement dans l'espace et le temps, on peut inférer l'énergie qui lui a donné lieu.

La musique, forme de *mouvement* biologiquement conditionnée

A. Truslit postule des fondations biologiques et psychophysiologiques à la loi qui concerne le *mouvement*, l'expérience et la mise en forme de la musique. Suivant ces bases théoriques de la perception du *mouvement* sonore, son orientation s'avère proche des sciences naturelles et présage les écrits de J. J. Gibson sur la perception écologique et sur l'action⁶¹. L'expérience du *mouvement* dans la musique est considérée comme un phénomène de croisement sensoriel. Dès la naissance, notre expérience quotidienne connecte des sensations de mouvement, de vision et d'audition, et forme des associations par la synopsis, phénomène de synesthésie à l'œuvre dans les expériences de translation de mouvements du domaine de l'audition au domaine de la vision. La spéculation la plus intrigante de A. Truslit – qui sera étudiée ultérieurement par N. Todd – est une voie d'accès plus directe du son à la sensation de mouvement via le système vestibulaire. Il a l'intuition que la perception et le transfert du *mouvement* musical peuvent être médiatisés par l'organe vestibulaire qui contrôle l'orientation et l'équilibre du corps. Il considère que l'expérience de *mouvement* musical peut être comptée parmi les sensations vestibulaires qui proviennent des mouvements de l'ensemble du corps. Ces sensations apparaissent comme des patterns variés de tension dans le corps entier. Ces expériences de tension peuvent être transmises aux membres lorsqu'elles ont un caractère plus actif. Ce lien entre le son et le mouvement corporel via le système vestibulaire s'exerce de la production à la réception des patterns musicaux. La thèse majeure de A. Truslit est que la dynamo-agogique est préservée au cours de trois étapes en chaîne :

- du mouvement corporel du musicien à la production du *mouvement* sonore. Le mouvement corporel peut être transcrit dans les sons. Par ses connexions au système musculaire⁶², le vestibule, qui contrôle à la fois la dynamique et l'agogique, est l'organe naturel de la mise en forme du *mouvement* de la musique.
- de la production du *mouvement* sonore à la perception de ce *mouvement* par l'auditeur. Le *mouvement* interne du musicien mène à des actions musculaires qui produisent des événements sonores qui, à leur tour, stimulent le vestibule et la membrane basilaire de l'auditeur.
- de la perception du *mouvement* sonore par l'auditeur à sa production de mouvements corporels. La stimulation du vestibule et de la membrane basilaire de l'auditeur donne lieu à la perception d'un son musical qui s'accompagne d'une sensation de *mouvement* intérieur et d'une activité musculaire qui suit la même dynamo-agogique.

⁶¹ GIBSON, James J., *Approche écologique de la perception visuelle*, Ed. Dehors, 1979/ 2014.

⁶² Ce lien physiologique vestibulaire-musculaire peut toutefois être perturbé par des impulsions volontaires, des inhibitions et l'éducation.

Le mouvement musical par l'expérience

Pour expérimenter totalement la musique, le compositeur, le musicien et l'auditeur doivent comprendre ce qui en constitue la caractéristique essentielle : son *mouvement*. En musique, l'expérience intérieure et la forme artistique fusionnent dans un processus intégral : le compositeur et le musicien utilisent des techniques variées pour former leur matériau ; l'expérience motrice de l'artiste crée la forme et lui donne un contenu ; l'interprète « expérimente » des mouvements techniques sur son instrument. Si l'exécution est correcte, ces mouvements découlent de *mouvements* intérieurs adaptés à l'instrument et sont donc organiquement intégrés au *mouvement* musical ; l'auditeur doit mener à bien intérieurement ce processus pour réaliser le potentiel complet de la musique. L'expérience de mouvements suscités par la musique est d'une nature intérieure et affecte l'être tout entier. Les manifestations extérieures sont des tensions musculaires subtiles qui passent facilement inaperçues parce qu'elles sont éclipsées par d'autres sensations acoustiques, visuelles et motrices plus intenses qui accompagnent la musique.




La pleine compréhension de la musique passe par l'accès à son *mouvement* intérieur. Certains mouvements du corps permettent d'identifier objectivement les formes du *mouvement* musical et de les visualiser. Ces mouvements courbes des bras guidés par la musique doivent être effectués lentement, les bras parallèles et tendus pour impliquer tout le haut du corps. Ces mouvements et leurs traces projetées sont un moyen de représenter spatialement des dynamiques mélodiques. La taille des mouvements tend à suivre le contour des hauteurs des notes tandis que la courbure de la trajectoire du mouvement effectué correspond à la vitesse de *mouvement* musical et à la tension relative conséquente. Ainsi, un ralentissement et une tension accrue dans la musique sont représentés par une boucle serrée tandis que des parties plus rapides et détendues correspondent à des mouvements relativement rectilignes. Dans le cas d'une œuvre musicale, la structure mélodique suit des trajectoires de mouvements complexes, avec des combinaisons variées de boucles dans le sens horaire ou antihoraire⁶³.

Formes élémentaires du mouvement musical

Trois types de *mouvements* soutiennent la cinématique de la performance musicale. Provenant de mouvements dits naturels, ces *mouvements* musicaux ont une trajectoire courbe et excluent le mouvement rectiligne (\wedge), absent de la nature et donc artificiel. Ces trois

⁶³ Cf. *infra*, figure 6 : « Interprétation cinématique de la *Rhapsodie en Sol mineur* op.79 n°2 de Brahms ».

formes élémentaires de *mouvements* musicaux ont été identifiées par une expérience⁶⁴ qui montre que différentes informations verbales sur le mouvement ou sur des images de mouvements données à des musiciens résultent en des performances aux propriétés d'organisation du temps différentes et mesurables. Ces formes basiques de mouvements courbes sont tracées de bas en haut et diffèrent dans la forme et le contenu interne et transcrivent des propriétés temporelles variées :

- le mouvement ouvert  commence calmement, accélère et dessine une boucle étroite dans le sens anti horaire puis décélère dans la descente ;
- le mouvement fermé  débute rapidement, décélère au sommet puis accélère lors de la descente, faisant une boucle large s'il se prolonge dans un autre mouvement ;
- le mouvement enroulé  monte en diagonale dans une large boucle antihoraire, descend à la verticale et se termine par une petite boucle de sens horaire qui revient à son origine.

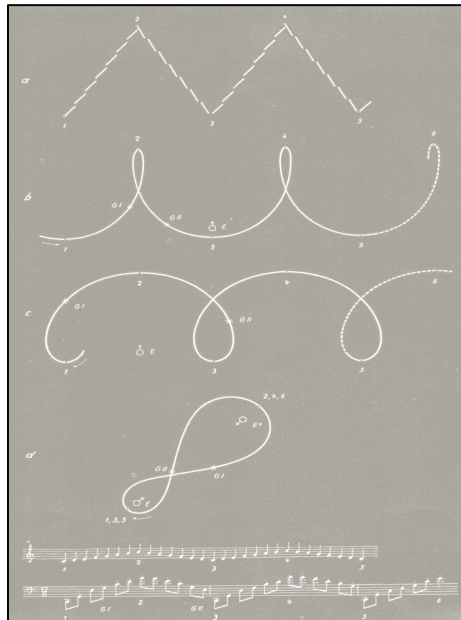


Figure 7: Courbes de mouvements musicaux types selon A. Truslit⁶⁵

Malgré leurs innombrables variantes, ces courbes ne peuvent reproduire qu'une part du contenu réel du *mouvement*. Seule, l'expérience de ce *mouvement* schématiquement esquissé permet aux détails dynamo-agogiques d'être sentis. Le *mouvement* naturel est rarement sans but, contenu ou expression. Cet aspect essentiel du *mouvement* musical est

⁶⁴ Un hautboïste joue deux fois une gamme montante et descendante sur une octave. La première fois, avec un *crescendo* et un *decrescendo* sans indication particulière, les notes paraissent immobiles et non reliées entre elles, sans mouvement intérieur. La seconde fois, suivant l'indication des trois formes de mouvement : même si le musicien ne maîtrise pas complètement ces courbes de mouvement, les différences sonores sont néanmoins clairement exprimées dans l'enregistrement et résultent nécessairement des particularités des différents mouvements.

⁶⁵ TRUSLIT, Alexander, *op. cit.*, Annexes, planche 2.

souvent difficile à rendre en mots, mais il est transporté par les *mouvements* finement différenciés des notes. Enfin, émotions et humeurs donnent son caractère particulier au *mouvement* musical mais ne peuvent être représentées dans des courbes graphiques.

Manifestations acoustiques des différentes formes de *mouvement*

Pour prouver l'existence objective des formes variées de *mouvement*, A. Truslit effectue des mesures⁶⁶ de dynamiques et d'agogiques sur des exemples sonores et montre que leur évolution suit les caractéristiques spécifiques de chaque *mouvement*.




TYPE DE <i>MOUVEMENT</i> NATUREL ⁶⁷	MANIFESTATIONS ACOUSTIQUES : MESURES DYNAMO-AGOGIQUES		
	Dynamique	Agogique	
		Evolution	Vitesse générale
ouvert 	Accroissement modéré	Se précipite Calme-accélère-décélère	Plus rapide
Fermé 	Plus fort	Avance énergiquement globalement	Moins rapide
enroulé 	Encore plus fort	Serpente autour d'elle-même, Energie encore plus grande Mouvement plus large	Plus lente

Tableau 15: Mesures dynamo-agogiques des trois types de mouvement naturel

Bien que mesurées séparément, A. Truslit considère qu'en réalité, agogique et dynamique forment une unité inséparable, sans toutefois préciser de quelle manière et dans quelle mesure ces deux phénomènes interfèrent. Le timbre serait également modifié selon le type de *mouvement*⁶⁸.

Détermination du *mouvement* originel à partir de la partition

Les relations entre forme musicale et *mouvement* interne sont illustrées dans les exemples suivants qui indiquent comment de petits changements dans le pattern musical modifient la forme du *mouvement*. Les courbes résultantes sont propres à une œuvre et non

⁶⁶ Dans l'idée d'étudier les corrélations musicales-corporelles, il utilise la technologie limitée de son temps pour extraire l'information de patterns musicaux et de mouvements corporels : « En utilisant un gramophone en film, les ondes sonores étaient enregistrées sur le film et projetées sur un mur pour les amplifier. Ainsi les durées de notes pouvaient être mesurées à la milliseconde près, les amplitudes relatives mesurées en millimètres. », A. Truslit in REPP, Bruno H., *op. cit.*, 1993, p. 172.

⁶⁷ Dans les trois cas, la descente est plus rapide que la montée.

⁶⁸ Un mouvement ouvert engendre un son transparent, fermé, un son plein, et enroulé, un son ample, rayonnant.

spécifiques à un compositeur, A. Truslit étant à cet égard plus proche de E. Sievers que de G. Becking.

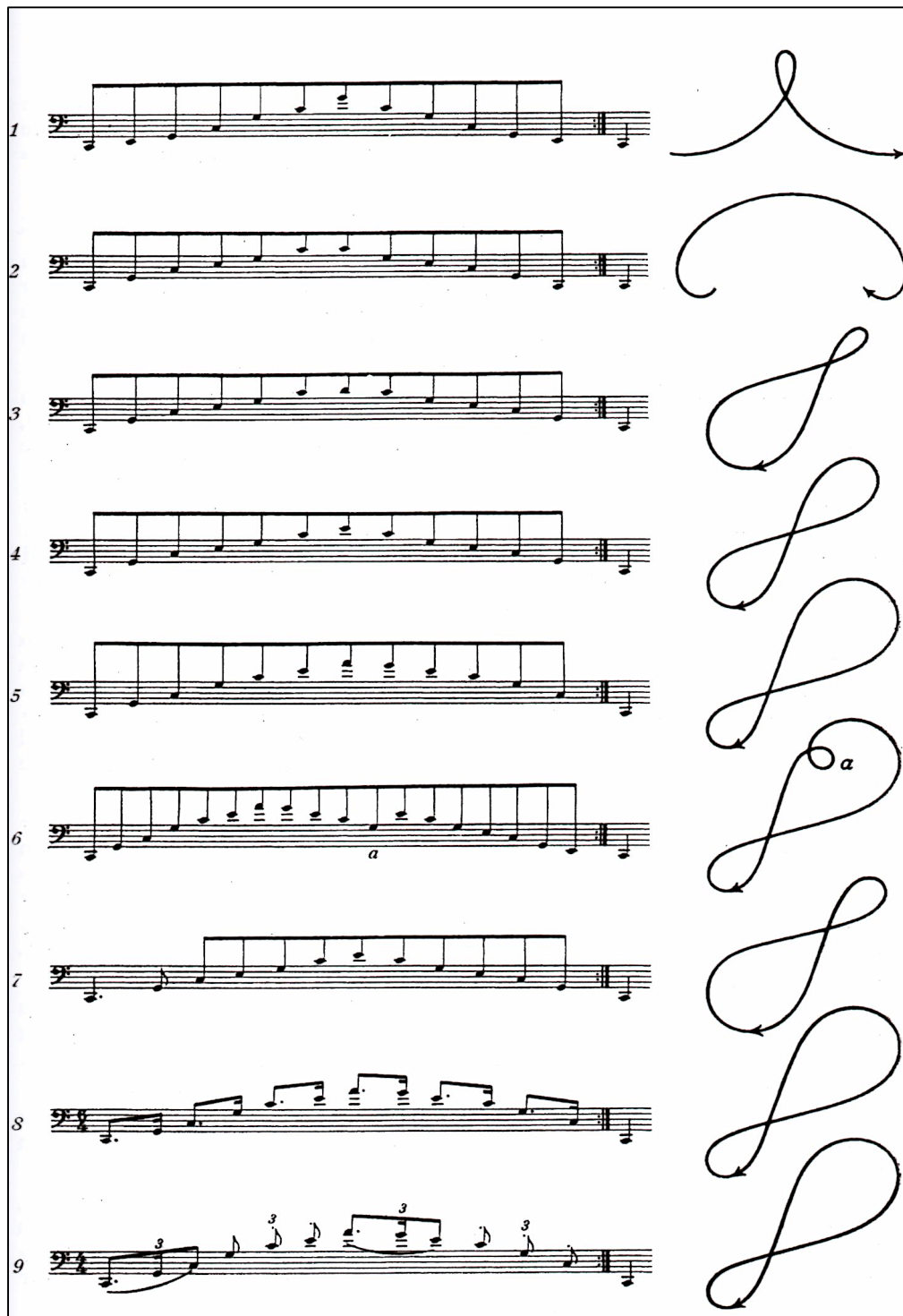


Figure 8: Neuf variations sur un arpège et courbes de mouvements correspondantes⁶⁹

➤ Production du *mouvement* musical

Le but d'une performance musicale serait d'arranger la surface musicale en accord avec le *mouvement* original sous-jacent qui contient les particularités d'un style donné, d'une

⁶⁹ TRUSLIT, Alexander, *op. cit.*, p. 137.

époque ou d'un compositeur. Les exemples musicaux⁷⁰ cités dans l'ouvrage d'A. Truslit sont pour l'essentiel des compositions des XVIII^e et XIX^e siècles qui exhibent un caractère gestuel prononcé. On ne sait s'il incluait dans sa réflexion musicologique des compositions contemporaines, de la musique populaire ou des musiques de cultures extra-européennes.

Notion de *mouvement* « naturel »

En musique, les processus de *mouvement* devraient apparaître de manière naturelle. Le mouvement est perçu comme tel seulement s'il obéit aux lois du mouvement naturel. L'effet « naturel » d'une performance résulte lorsque ses dynamoagogiques mènent à l'expérience d'événements dont le *mouvement* est lui-même naturel. Par conséquent, les formes dynamiques et agogiques de la musique ne peuvent être appliquées de l'extérieur mais seulement par l'exécution d'un *mouvement* intérieur approprié. Cela s'applique également quand l'objet de la mise en forme est une émotion. Par l'effet de mouvements vestibulaires sur le système nerveux central, le musicien régule le jeu entre les muscles pertinents pour produire des sons. Les patterns sonores résultants ont une organisation temporelle dynamique identique à celle des muscles utilisés pour la production des sons. Une fois la forme de *mouvement* complètement maîtrisée, la conscience du musicien s'efface, des détails dynamoagogiques sont expérimentés plus finement et le *mouvement* est plus précis et plus libre.

Mise en forme artistique du *mouvement* musical

Elle requiert les mouvements des organes ou membres nécessaires pour chanter ou jouer. Ces mouvements ont des dynamo-agogiques qui correspondent à celles des muscles activés ; les événements sonores résultants correspondent à ces mêmes dynamo-agogiques. Lors de sa préparation, le musicien doit clarifier le *mouvement* propre à l'œuvre. Le transport intérieur de ce *mouvement* dérivera en impulsions de mouvement formées de dynamiques et d'agogiques. La performance ne doit pas être « pensée » et le musicien doit se concentrer entièrement sur l'expérience de *mouvement* interne. La dextérité manuelle seule ne peut générer la musique vivante ; elle peut éblouir l'auditeur mais ne saurait l'émouvoir. Des exercices de mouvements sont préparatoires. L'exagération qu'ils demandent disparaît dans la mise en forme musicale réelle. Faire de la musique ne revient pas à acquérir une technique fluide mais à façonner artistiquement l'expérience intérieure. Dès le début, les exercices techniques devraient être guidés par le *mouvement*. La maîtrise du *mouvement* ne mène pas toujours à la même expression sonore stéréotypée car la personnalité, le tempérament, l'humeur de l'interprète, introduisent des différences qui préservent une forme originale. Sur

⁷⁰ Nombre d'entre eux proviennent d'œuvres de Wagner tandis qu'il n'y a en pas de Mozart ou de Bach.

le plan de l'interprétation, cette fonction, purement intellectuelle, est distincte de la capacité à façonner la musique selon le *mouvement*. Elle peut cependant être soutenue par l'imagination de formes de *mouvement*. Le flux, l'aspect vivant, la qualité du son, le tempo correct et en particulier la « compréhension » de la musique résultent directement du *mouvement* correct.

Production de *mouvement* musical et rythme

A. Truslit distingue nettement les aspects mélodique et rythmique, les rapportant chacun à des mouvements corporels particuliers. Le « mélo », qui signifie « chantant », est considéré comme le principal vecteur du *mouvement* intérieur de la musique, qui est raffiné par l'addition d'aspects rythmique, métrique, harmonique. De fines variations à ces niveaux causent de subtiles modifications dans le *mouvement* originel de la forme musicale émergente. Les patterns rythmiques jouent donc un rôle secondaire et subordonné. Rythme et mètre doivent être relativement discrets afin de ne pas perturber le *mouvement* mélodique⁷¹. Bien que le rythme signifie à l'origine « coulant » ou même « mouvement », le concept a évolué au fil du temps pour focaliser sur des manifestations telles que durée et accent. Le rythme rend le mouvement de petites impulsions et injecte de nouvelles impulsions. Il est fondé sur la combinaison d'événements similairement structurés et récurrents. Le motif rythmique consiste en une chaîne de petites impulsions qui ont aussi un caractère de *mouvement* mais d'une forme différente de celle du *mouvement* qui forme la mélodie. Les courbes de A. Truslit s'étendent souvent sur plusieurs mesures et la structure rythmique détaillée est marquée localement par de petites boucles, voire pas du tout, comme l'indique la figure suivante qui présente la combinaison de *mouvements* que l'auteur estime la plus appropriée pour la section initiale de la *Rhapsodie en Sol mineur* op.79, n°2, de J. Brahms.

⁷¹ Dans la musique de danse en particulier, un *mouvement* fluide peut être détruit par des accents forts.

The figure shows a musical score for the first section of Brahms' Rhapsody in G minor, Op. 79, No. 2. The score is written for piano and includes performance instructions such as "Molto passionato, ma non troppo allegro", "m.g.", "rit.", and "in tempo". Above the score, a large, continuous line with eight numbered points (1-8) illustrates a "cinematic interpretation" of the music's phrasing and dynamics. The line starts at point 1, moves up to point 2, then down to point 3, then up to point 4, then down to point 5, then up to point 6, then down to point 7, and finally up to point 8. The line is smooth and flowing, suggesting a natural movement through the music.

Figure 9: Interprétation cinématique par A. Truslit de la première section de la Rhapsodie en Sol mineur op. 79, n°2, de J. Brahms⁷²

Le sens du *mouvement* aide à la précision temporelle de la performance dont la clarté et la précision rythmique ne résident pas dans une forte accentuation mais dans un *mouvement* naturel. Le mètre devrait être senti de façon agogique plus que dynamique car il a un effet perturbateur s'il est trop fortement marqué. Pour l'articulation et le phrasé, l'intervalle entre les premières notes et l'intervalle entre les dernières notes sous une liaison sont particulièrement importants. Enfin, les pauses doivent donner vie au *mouvement* qui les comble et détermine ainsi leur durée correcte. Le sens du *mouvement* permet également la détermination du tempo correct. C'est la trajectoire du *mouvement* qui détermine le temps nécessaire pour le négocier. En fait, bien qu'un *adagio* diffère grandement d'un *presto*, leurs *mouvements* peuvent être très similaires, enjambant une mesure dans le premier cas mais trois ou quatre dans le second. En général, ces empan temporels ne varient pas beaucoup ; la vitesse du *mouvement* est approximativement la même. S'il y a beaucoup d'événements, le mouvement sera un peu en arrière ; s'il y en a moins, le mouvement ira plus vite. Pour rendre une performance intéressante, plutôt qu'accélérer le tempo, il suffit de lui donner du *mouvement*. Un tempo rapide, s'il n'est pas motivé par le *mouvement*, crée une impression de précipitation, alors qu'un *mouvement* naturel procure un calme intérieur à des pièces rapides. De même, accélérations et décélérations animent une performance uniquement si elles résultent

⁷² *Ibidem*, p. 144.

naturellement d'un *mouvement* intérieur. Enfin, le sens du *mouvement* accroît l'expressivité musicale. Le *mouvement* originel fournit une régulation bien plus précise des dynamo-agogiques que les marques expressives de la partition.

Mouvement musical et mouvement corporel du musicien

A. Truslit estime que l'éducation musicale rythmique pratiquée par E. Jaques-Dalcroze et ses successeurs est fondée sur une idée intéressante mais qu'elle souffre d'une focalisation sur le rythme. Pour se saisir de notre corps musicalement, il faut le déplacer dans son ensemble par des mouvements qui ne sont pas ceux de la gymnastique ou de la danse. Ils ouvrent la voie pour établir un lien intérieur entre le *mouvement* originel de la musique et les mouvements du corps en amplifiant et portant à la conscience les subtiles réactions musculaires à la musique. Contrairement aux mouvements rythmiques, ils ne sont pas conduits par la gravité mais sont menés dans de larges courbes. Le muscle le plus important est le dorsal *lattissimus*⁷³ dont le pattern de tension suit la courbe du mouvement correspondant. Les tensions musculaires anticipent le cours du mouvement. Elles sont très différentes pour les départs d'une courbe sinueuse et d'une courbe ouverte. Les différentes formes de mouvement affectent aussi le diaphragme qui compte pour la qualité du son dans le chant ou avec un instrument à vent. Une connexion souple entre les membres et le torse est essentielle car le corps mène le mouvement et les bras suivent comme un seul membre. La maîtrise corporelle de ces exercices de mouvements progressant, des *mouvements* musicaux plus fins peuvent être expérimentés avec le corps entier. Ces mouvements corporels interviennent aussi dans l'évaluation de la réception du *mouvement* musical par l'auditeur.

➤ **Perception du *mouvement* musical via les mouvements corporels de l'auditeur**

Après avoir déterminé comment le *mouvement* intérieur de la musique se manifeste dans des exemples musicaux simples, A. Truslit s'est interrogé sur l'appréhension et l'expérimentation du *mouvement* par l'auditeur : le mouvement basé sur l'expérience auditive de la musique est-il aussi naturellement donné que celui basé sur la mise en forme de la musique dans la performance musicale ?

La loi du *mouvement* dans la musique

Le *mouvement* intérieur qui donne lieu à la musique peut être plus ou moins conscient. C'est une pure sensation de *mouvements* qui n'est pas nécessairement accompagnée d'expériences émotionnelles. Les paramètres psychophysiques pertinents pour le musicien le

⁷³ Muscle grand dorsal.

sont également pour l'auditeur. Ainsi, les dynamiques et agogiques musicales transmettent l'information de *mouvement* directement à l'auditeur sensible qui peut, si nécessaire, effectuer ces mouvements ou, s'il est expérimenté, se mouvoir intérieurement et juger d'oreille l'aspect naturel du *mouvement* musical.

Mouvement musical, expressivité et expérience de tension

Pour montrer qu'un *mouvement* particulier de la musique peut susciter l'expérience du *mouvement* correspondant dans l'auditeur, A. Truslit demande à deux sujets d'écouter de simples notes jouées au violon suivant différentes formes de *mouvement* puis de décrire leur expérience d'écoute. Les sujets expriment des états de tension⁷⁴ qui tendent à résulter de *mouvements* intérieurs, sans se référer directement aux expériences de mouvement. L'auteur en déduit que le *mouvement* peut rarement être décrit en mots et qu'il ne peut être précisément capturé que par le *mouvement* musical lui-même. Quant au jugement des auditeurs sur le jeu d'une note (durée, intensité, accent), il ne peut résulter que d'une *comparaison* consciente ou non avec ce qui a été entendu lors d'une expérience intérieure fondée sur le *mouvement* des événements sonores. Un *mouvement* rectiligne, *i.e.* une note d'intensité constante, ne peut provoquer qu'une prise de conscience directe de la note en tant que telle. Toutes les expériences plus différenciées sont associées à des formes curvilignes de *mouvement*.

Forme de *mouvement* musical et courbe de mouvement graphique de l'auditeur

Selon A. Truslit, la musique suscite en nous des sensations de mouvements comparables à ce que nous expérimentons quand nous observons d'autres personnes en mouvement. Certes, on peut exécuter des mouvements arbitraires sur la musique, mais, en y portant une attention précise, on trouve quelle forme de mouvement génère le moins de « frottements intérieurs ».

« L'expérience d'une séquence de *mouvement* peut être si claire que sa forme peut également être représenter graphiquement. »⁷⁵

Pour ce faire, l'auditeur doit sentir le *mouvement* intérieur puis laisser sa main être guidée par ce *mouvement* musical de sorte qu'il dessine une courbe⁷⁶ qui le représente. L'essentiel tient dans l'expérience du mouvement naturel comme expression d'un événement. Ainsi, la courbe doit être expérimentée comme le dessin du *mouvement*, comme la trace de quelque chose en mouvement. Cette procédure permet de déterminer objectivement des

⁷⁴ Sentiments de pouvoir, d'excitation, d'élévation, de contraction, *etc.*

⁷⁵ Traduction de l'auteur. « Das Erleben des bewegungsablaufes kann so deutlich sein, dass sich seine form auch zeichnerisch darstellen lässt. », *ibid.*, p. 45.

⁷⁶ Cette courbe n'est qu'une aide pour visualiser le mouvement.

formes de *mouvement* musical qu'il est alors possible d'enregistrer graphiquement. Il existe de nombreuses possibilités de mise en forme individuelle car l'exécution d'un mouvement nécessite un processus énergétique dépendant de la masse qui est en mouvement et du médium par lequel le mouvement est transporté. Les patterns musicaux rythmiques affectent les membres individuels et le torse via le système musculaire et articulaire tandis que les patterns mélodiques affectent les muscles du corps entier via le labyrinthe de l'oreille.

Le mouvement originel de la musique

Afin de vérifier si l'auditeur peut détecter un *mouvement* originel, A. Truslit compare les courbes de *mouvement* déterminées par un musicien avec les formes de *mouvement* perçu dans la musique par un auditeur. L'expérience requiert trois étapes (Cf. figure 3 infra). Initialement, un *mouvement* originel (Cf. colonne 2 : *Urbewegung*) est produit par le musicien qui exécute ou imagine des mouvements avec ses bras et trace la courbe de ces mouvements sur papier. Puis il convertit ce mouvement graphique en *mouvement* musical. Il en résulte une forme musicale du *mouvement* originel (Cf. colonne 1 : *Musikalische Form der Urbewegung*). La phrase musicale est ensuite jouée à l'auditeur qui tente de déterminer les *mouvements* fondamentaux qu'il perçoit dans la musique en traçant la courbe de mouvement correspondante, trace du *mouvement* détecté (Cf. colonne 3 : *Festgestellte Bewegung*).

Les résultats indiquent une très forte corrélation⁷⁷ entre les traces graphiques des *mouvements* initiaux (colonne 2) et les *mouvements* perçus tracés par l'auditeur (colonne 3).

⁷⁷ Les courbes de mouvements détectées par l'auditeur sont identiques avec les mouvements originaux dans 13 cas sur 20. Dans 6 cas, il y a des différences mineures et dans un seul cas (n°4), désaccord complet.

1 Musikalische Form der Urbewegung	2 Urbewegung	3 Festgestellte Beweg. (Reproduzierte Urbeweg.)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		

Figure 10: Reconnaissance du mouvement original de la musique par un auditeur⁷⁸

⁷⁸ 1/ Formes musicales du mouvement original notées par le musicien à partir de 2/. 2/ Courbes de mouvement original dessinées par le musicien. 3/ Courbes de mouvements dessinées par l'auditeur (=mouvement original reproduit). *Ibid.*, p. 118-119.

Une telle analogie formelle entre les courbes initiales et finales demeure sujette à caution. Toutefois, le paradigme expérimental original présente un intérêt par ses qualités logiques démonstratives. L'ensemble des écrits de A. Truslit reste une source féconde de réflexion et d'hypothèses scientifiques sur la nature du *mouvement* musical, sur sa production et sa réception via le mouvement corporel et la trace graphique résultante. L'idée d'une transmission de l'information de mouvements du musicien à l'auditeur via le médium acoustique repose sur l'hypothèse majeure que les dynamo-agogiques de la musique constituent l'information auditive pour la perception du *mouvement*.

2.2.2.2 Deuxième moitié du XX^e siècle : évolutions technologiques et apports théoriques

A partir des années soixante-dix, l'évolution technologique provoque une avancée des recherches sur les mouvements accompagnateurs des sons. Parmi le groupe restreint de chercheurs actifs dans ce champ, M. Clynes et N. Todd sont particulièrement proches des pionniers allemands, E. Sievers, G. Becking et A. Truslit et font figure de successeurs. Auparavant, dans les années 50, les recherches du psychologue de la musique R. Francès portent sur la nature et le fonctionnement de l'expressivité du langage musical⁷⁹. Elles l'amènent à rapprocher musique et comportement humain et à comparer des formes de *mouvement* inhérentes au rythme musical et des formes cinétiques de mouvements humains.

- **Schémes cinétiques musicaux et comportementaux**

Selon R. Francès, la suggestion du mouvement imaginaire est l'une des principales ressources de la description musicale. En 1955, il pose l'hypothèse⁸⁰ que les réponses sémantiques des auditeurs de musique indiquent des états psychologiques et des comportements qui sont apparentés soit à un style d'activité motrice soit à un degré de tension ou de détente musculaires impliquées dans une attitude corporelle. En 1958, il présente le concept de *schème* qui rend compte d'analogies perçues par l'auditeur entre musique et mouvement :

« Les réponses fournies par des sujets en induction libre possèdent une consistance et une cohérence sémantiques qui peuvent s'expliquer par la perception *d'analogies* entre la forme musicale, d'une part, et des mouvements, attitudes, sentiments ou atmosphères, d'autre part. Ces analogies apparaissent parce que la musique est capable d'évoquer des *schèmes* de

⁷⁹ La troisième et dernière partie de son ouvrage *La perception de la musique* est consacrée à l'expression et à la signification en musique. FRANCÈS, Robert, *La perception de la musique*, Paris, Vrin, 1958/1984/2002.

⁸⁰ FRANCÈS, Robert et BRUCHON-SCHWEITZER, Marilou, « Expression musicale et expression corporelle », *L'Année psychologique*, 82, 1982, p. 155-172.

mouvement, schèmes cinétiques, ou des schèmes de tension et de détente qui sédimentent l'expérience motrice et affective du sujet. »⁸¹

L'auteur établit un rapport entre schèmes gestuels et schèmes musicaux. Il explique que les états psychiques fondamentaux⁸² se traduisent communément par des formes gestuelles ayant un rythme donné, par des tendances et des directions spatiales, par des modalités d'organisation de formes partielles au sein de formes globales. La transposition sur le plan sonore de ces rythmes, ces tendances et ces modalités de mouvement constituerait le fondement du langage expressif de la musique :

« Un des éléments fondamentaux du langage expressif de la musique réside dans la parenté du schème rythmique et mélodique et des schèmes gestuels qui accompagnent le comportement. »⁸³

La musique perçue ferait intervenir une mimique expressive analogue à celle du corps mais en utilisant ses propres ressources, au service d'une finalité artistique :

« En toute rigueur, nous savons que seule la musique donne pleinement le contenu d'une expressivité musicale ; si celle-ci est l'analogie d'un sentiment ou d'un mouvement des choses, c'est de manière spécifiquement musicale, et nous ne l'apprenons que par le détour de la signification, lorsqu'elle contient elle aussi une forme cinétique caractéristique de ce mouvement ou de ce sentiment. »⁸⁴

Schèmes cinétiques et rythme musical

Si la mélodie a le pouvoir de signifier le mouvement⁸⁵ par son allure, son amplitude, ses élans, ses arrêts et son ornementation, la source la plus complète des formes cinétiques réside dans le rythme dont R. Francès prend la définition chez B. de Schloezer,

« Structure d'un système sonore conçu sous la catégorie du devenir »⁸⁶

et distingue entre rythme musical et rythme naturel :

« Le rythme musical résulte au contraire d'une impulsion humaine réfléchie, soumise à des impératifs formels et culturels dont l'aboutissement est la création d'une œuvre et non l'imitation de la nature, ou des rythmes mécaniques. »⁸⁷

⁸¹ FRANCÈS, Robert, IMBERTY Michel, ZENATTI, Arlette, « Approche psychologique de la sémantique musicale », *Psychologie de l'art et de l'esthétique*, dir. Robert Francès, Paris, PUF, 1979, p. 175.

⁸² Calme, excitation, tension, détente, exaltation, dépression.

⁸³ FRANCÈS, Robert, *op. cit.*, p. 301.

⁸⁴ *Ibidem*, p. 329.

⁸⁵ Son amplitude tonale globale ou celle de ses différents intervalles suggère l'amplitude spatiale du mouvement et celle de ses moments successifs. Sa direction tonale globale ou celles de ces différents intervalles est qualifiée selon la direction spatiale du haut et du bas. Ce schème cinétique unilinéaire peut être projeté dans l'espace. Il peut être figuré comme un contour décrit dans le temps ou être vécu comme une modalité du mouvement ou du repos corporels propre à caractériser une attitude, un état, un sentiment. La mélodie est comparable à une ligne qui se décrit, à un contour ou à un geste en acte. Ses articulations temporelles peuvent s'interpréter en termes d'organisation motrice.

⁸⁶ SCHLOEZER, Boris de, *Introduction à J. S. Bach*, Paris, 1947, p. 111, in *ibid.*, p. 316.

⁸⁷ *Ibid.*, p. 317.

Divers éléments du rythme déterminent les particularités du mouvement : les accents métriques, temporels, intensifs et de hauteur ; les rapports inhérents à l'hétérophonie ; l'accentuation harmonique.

L'idée de tension et de détente est appliquée aux schèmes cinétiques : la vitesse, l'amplitude des mouvements inhérents à chaque schème cinétique revêt une variété quantitative exprimable en termes de degrés de tension. R. Francès en déduit l'existence de schèmes de *tension cinétique*⁸⁸. Les composantes de la tension et de la détente sont les variations de la dynamique, de la hauteur⁸⁹ et de leurs combinaisons. En elle-même, l'intensité d'un ensemble sonore est une propriété qui peut être utilisée symboliquement pour renforcer et différencier les articulations du discours musical dont les significations sont parentes de celles du discours verbal⁹⁰. Elle possède également un symbolisme plus direct qui consiste à transporter dans la sonorité les degrés et les variations d'intensité de processus extérieurs, visibles ou audibles, ou d'états de tension ou de détente psychologique. La tension et la détente motrices sont également combinées avec l'intensité.

Schèmes cinétiques saltatoire, giratoire et ondulatoire

R. Francès cherche à montrer que

« les formes de mouvements inhérentes au rythme musical peuvent être l'analogie symbolique de formes cinétiques présentes dans le comportement, que cette analogie ait été explicitement ou non, visée ou non par le compositeur. »⁹¹

Afin de mettre en évidence l'évocation de schèmes cinétiques par l'auditeur, il mène une expérience⁹² sur les « Formes de mouvement représenté induites par l'audition musicale »⁹³. Il sélectionne quatre échantillons musicaux d'environ 30 secondes extraits d'œuvres⁹⁴ qui comportent des schèmes cinétiques saltatoire, giratoire et ondulatoire et une combinaison de schèmes saltatoire et giratoire. Ces schèmes étant des variables intermédiaires, l'expérimentation passe par une opérationnalisation indirecte comme recherche de vérification. Deux voies successives d'évocation de ces schèmes sont proposées aux auditeurs :

⁸⁸ *Ibid.*, p. 330.

⁸⁹ Le degré le plus élevé de tension musculaire est associé à l'aigu, le plus bas, au grave.

⁹⁰ Par analogie avec ses techniques expressives, la phrase *forte* est positive, affirmative, le *piano* et ses différents degrés sont insidieux, ils opèrent en captant l'attention par détour. Les variations progressives de l'intensité à l'intérieur d'une phrase ou d'une période servent à en limiter les contours.

⁹¹ *Ibid.*, p. 317.

⁹² Expérience XV, *ibid.*, p. 320-330.

⁹³ Table des expériences, *ibid.*, p. 420.

⁹⁴ Les titres indiquent l'effort du compositeur dans le sens d'une description cinétique : *Giration*, divertissement chorégraphique et La toupie de G. Pierné ; Petite suite, *En bateau*, et Images, *Mouvement*, de C. Debussy.

« La consigne donnée aux sujets consistait d'une part à leur demander si chaque fragment entendu deux fois leur donnait l'idée d'un mouvement ou d'un mobile ; d'autre part, dans l'affirmative, il s'agissait pour eux de définir ce mouvement en lui-même ou tel qu'il pouvait être imaginé sur son mobile, d'en décrire si possible la forme et *d'essayer de la dessiner.* »⁹⁵

Les résultats obtenus auprès de 70 auditeurs indiquent que les réponses comportant des indications de mouvement sont très nombreuses et possèdent une réelle unité. Pour analyser les formes de mouvement évoquées et décrites par les auditeurs en lien avec les formes cinétiques musicales, l'auteur rapproche les trois types de documents de l'expérience : extrait musical, réponses verbales des auditeurs avec idée de mouvement⁹⁶ et dessins⁹⁷ des formes de mouvement.

➤ Schème cinétique d'allure saltatoire

Audition du fragment :

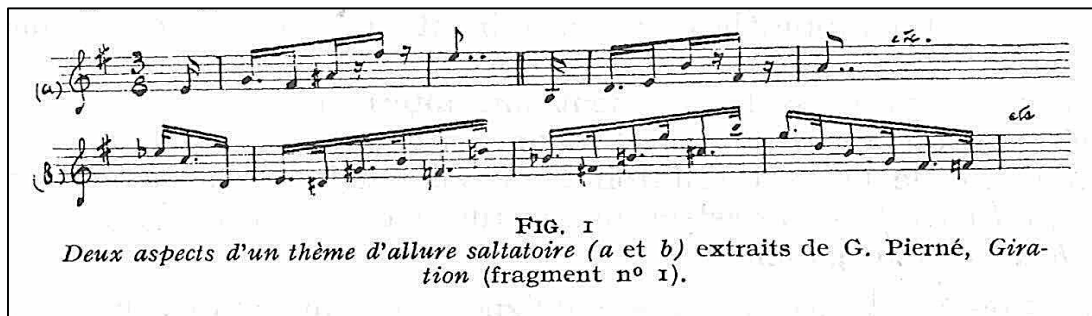


Figure 11: Fragment 1 : extrait de *Giration*, divertissement chorégraphique de G. Pierné⁹⁸

Réponses verbales⁹⁹ : sauts et bonds successifs > marche ou danse > va-et-vient > rotation spirale.

Dessins : dominance d'indications de sauts et bonds discontinus et répétés ou alternant avec des moments de préparation constitués par des motifs saltatoires moins amples, selon que l'auditeur a voulu représenter le mouvement le plus apparent ou l'ensemble de la structure :

⁹⁵ *Ibid.*, p. 321.

⁹⁶ Issues du « *Tableau de répartition des réponses sémantiques avec idée de mouvement* », *ibid.*, p. 322.

⁹⁷ Reproduction des planches, *ibid.*, p. 325-328.

⁹⁸ *Ibid.*, p. 323.

⁹⁹ Dans l'ordre décroissant de fréquence des réponses.

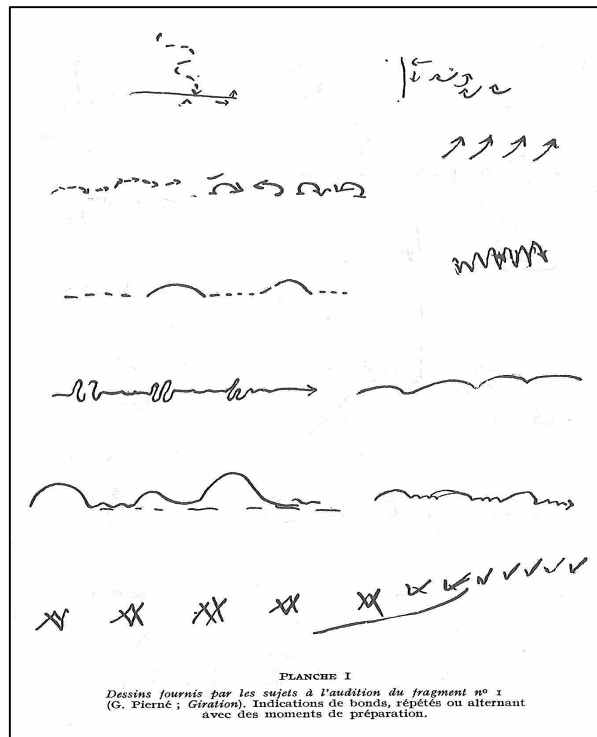


Figure 12: Dessins de formes de mouvement suscitées par l'audition de schèmes cinétiques saltatoires

Liens des réponses avec la forme cinétique musicale : le schème saltatoire est constitué de l'alternance de figures rythmiques (cf. a et b). Cette alternance justifie une interprétation allant dans le sens de la marche et de la danse légère ou d'un va-et-vient en zig-zag. Les significations impliquant une rotation sont liées à la manière dont le rythme métrique de valse est rehaussé par les accents de hauteur inclus dans le troisième temps de plusieurs mesures.

➤ Schème cinétique d'allure giratoire

Audition du fragment :

FIG. 2
Thèmes évoquant la giration (a et b). Extraits de G. Pierné, *Giration*. a comporte en même temps une progression ascendante soulignée par les battements des violons (fragment n° 2).

Figure 13: Fragment 2 : extrait de *Giration, La toupie*, de G. Pierné¹⁰⁰

Réponses verbales : tourbillon, giration, spirale, pirouette > course, vol, poursuite > agitation désordonnée > saut, autres.

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 323.

Dessins : dominance de tourbillons successifs enchaînés les uns aux autres avec une idée de progression générale indiquée par des flèches.

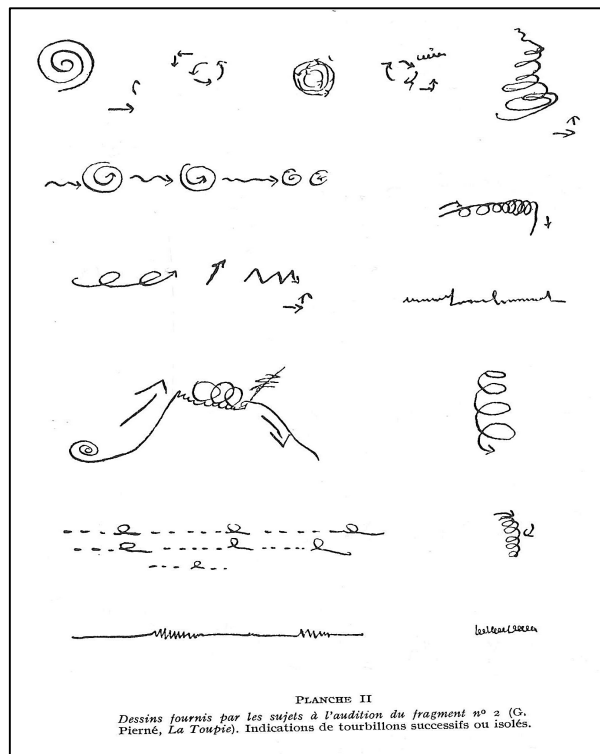


Figure 14: Dessins de formes de mouvement suscitées par l'audition de schèmes cinétiques giratoires

Liens des réponses avec la forme cinétique musicale : les tourbillons, la giration rapide sont liés aux figures répétées (cf. a et b), mais (a) comporte en même temps une progression soulignée par les battements des violons qui amène l'idée de poursuite ou de vol par à-coups successifs.

➤ **Schème cinétique d'allure ondulatoire**

Audition du fragment :




FIG. 4
Thème rappelant des ondulations ou un balancement lents, extrait de Cl. Debussy, *En bateau* (fragment n° 3).

Figure 15: Fragment 3 : extrait de *Petite suite, En bateau*, de C. Debussy¹⁰¹

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 324.

Réponses verbales : glissement, planer, translation horizontale > ondulation ou balancement à peine marqués > danse ou marche calmes > autres.

Dessins : dominance presque exclusive des horizontales, souvent légèrement ondulées, avec translation indiquée par des flèches.

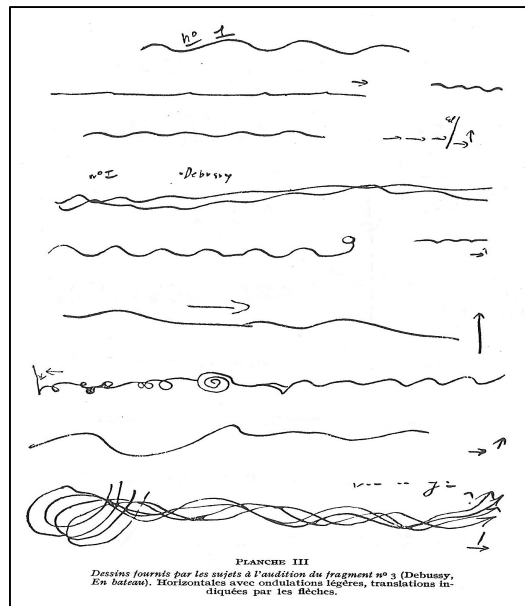


Figure 16: Dessins de formes de mouvement suscitées par l'audition de schèmes cinétiques ondulatoires

Liens des réponses avec la forme cinétique musicale : le fragment offre une ligne mélodique lente, souple, d'un ambitus restreint à la tierce dans sa plus grande partie, soulignée par des tenues des basses. Le balancement lent est assuré par l'accompagnement de la harpe, avec des arpèges ascendants qui s'arrêtent régulièrement au sommet sur le deuxième temps de chaque mesure, dessinant un geste lent ascendant, répété à intervalles réguliers.

➤ Schème cinétique d'allure giratoire et saltatoire

Audition du fragment :

Figure 17: Fragment 4 : Extrait d'*Images, Mouvement*, de C. Debussy¹⁰²

¹⁰² *Ibid.*, p. 323.

Réponses sémantiques : galop, course > giration, tourbillon > Saut, danse, sautaillement > Va-et-vient saccadés.

Dessins : seul figure l'élément giratoire ou une combinaison de cet élément avec les moments répétés de saut qui s'y superposent dans la forme rythmique du fragment musical.

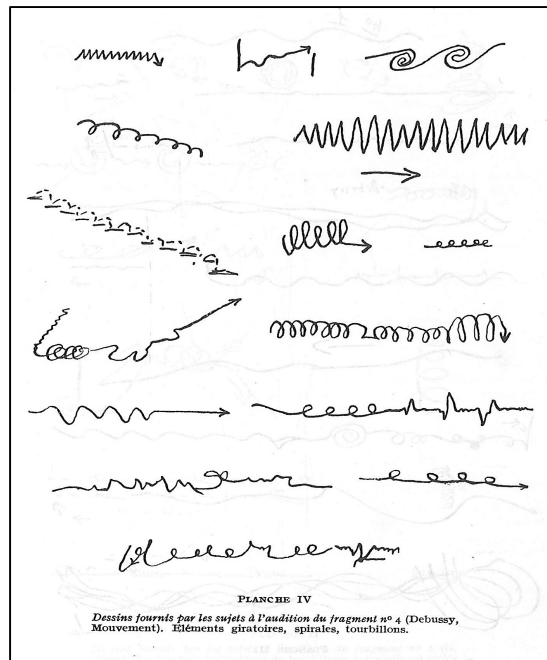


Figure 18: Dessins de formes de mouvement suscitées par l'audition de schèmes cinétiques giratoires et saltatoires

Liens des réponses avec la forme cinétique musicale : l'aspect itératif de la giration se retrouve dans une figure analogue (a) où elle est combinée, puis superposée avec un schème de trot dans lequel le moment d'accentuation de la 4^e croche est accent d'intensité ou accent de hauteur (b). Cette accentuation s'intensifie et intervient à des intervalles deux fois plus rapprochés en (c) entraînant une accélération du mouvement. Il y a donc dans le fragment deux schèmes cinétiques qui finissent par se fondre en (c), avec cependant une prédominance de l'aspect saltatoire, mis en relief par la main droite en (c), où l'accélération est encore accrue par la présence sous-jacente de (b) à la main gauche.

Des résultats généraux de l'expérience, on retient que sur le plan rythmique¹⁰³ les schèmes de *saut*, de *bond* et de *marche* sont essentiellement évoqués par des rythmes du type longue-brève dont l'effet peut être renforcé par la présence de grands intervalles dans la ligne mélodique ; les schèmes de *giration* et de *tourbillonnement* sont liés aux formules répétitives mélodico-rythmiques qui impliquent à la fois la vitesse élevée et une construction d'ambitus restreint, sans grands intervalles ; les schèmes de *glissement* et d'*ondulation* sont liés à une mélodie souple, lente et de faible ambitus, au rythme ternaire caractéristique (6/8). Les

¹⁰³ FRANCÈS, Robert, IMBERTY, Michel, ZENATTI, Arlette, *op. cit.*, p. 175-176.

réponses verbales concernent essentiellement la forme du mouvement mais les indications sont équivoques. Peu de réponses précisent la direction, encore moins la vitesse. Les termes marche ou danse n'indiquent pas précisément la forme ou l'allure du mouvement.

La richesse des fragments musicaux explique les difficultés des sujets à représenter graphiquement les mouvements évoqués. Le nombre relativement restreint de dessins obtenus laisse supposer que la morphologie rythmique complexe des extraits musicaux pouvait être plus facilement caractérisée par les mots que par le trait. Par ailleurs, les exemples musicaux utilisés sont de construction relativement complexe. La traduction verbale ou graphique est difficile car elle requiert une analyse séparant des schèmes partiels qui peuvent être caractérisés par des termes simples – giration, saut, glissement. Lorsque cette séparation n'est pas effectuée, la résultante est condensée dans des concepts globaux évoqués par la combinaison de plusieurs mouvements, marche, danse, course, poursuite, agitation. Face à la difficulté d'obtenir un schème cinétique abstrait dont l'expression verbale ou graphique soit l'équivalent du schème concret présent dans le fragment musical, R. Francès propose d'extraire des éléments temporels musicaux plus réduits qui pourraient être exprimés par des mouvements élémentaires et de présenter aux auditeurs des produits de laboratoire et non des fragments d'œuvre. Il pose quelques limites à la recherche de schèmes cinétiques musicaux. D'une part, l'analyse technique des œuvres et des moyens de l'écriture rythmique ne peut mettre en évidence les schèmes cinétiques du fait qu'elle fait perdre de vue ce que l'audition globale suggère. D'autres limites se posent sur le plan sémantique : les nécessités de construction formelle des œuvres imposent aux figures rythmiques des aspects auxquels ne conviennent que des qualificatifs généraux. Or la grâce, la légèreté, la majesté, le calme s'apparentent à des silhouettes de mouvement et d'allure qui peuvent s'appliquer à un grand nombre de schèmes rythmiques ; de surcroît, « de la silhouette à l'être, il y a loin »¹⁰⁴. Enfin, la pertinence des recherches sur le *mouvement* musical via les mouvements corporels est remise en question car

« L'analogie entre le mouvement musical et le mouvement réel est dans un grand nombre de cas, trop médiate. »¹⁰⁵

Il reconnaît la légitimité de points de vue différents sur le *mouvement* musical et laisse la possibilité de penser que

« Le mouvement dans la musique est un 'auto-mouvement', unique de son espèce, un mouvement 'sans mobile, pur', sans rapport avec d'autres mouvements, naturels ou mécaniques, pas même avec ceux de la danse »¹⁰⁶,

¹⁰⁴ FRANCÈS, Robert, *op. cit.*, p. 329.

¹⁰⁵ *Ibidem*, p. 321.

¹⁰⁶ *Idem*.

ce qui nous renvoie au problème fondamental de définition d'un *mouvement* spécifiquement musical, de son essence et de sa typologie.

Dans les années 80, R. Francès et M. Bruchon-Schweitzer tentent à nouveau

« une [...] vérification de la base corporelle de l'expression musicale fondée sur des schèmes cinétiques et des schèmes de tension et de détente »¹⁰⁷.

Ils suggèrent l'existence d'un noyau corporel de l'expression musicale¹⁰⁸ :

« Les schèmes cinétiques sont des formes complexes de la rythmique corporelle incluant outre la vitesse, l'amplitude. Ils apparaissent dans leur parenté comme inducteurs de l'expression musicale.»¹⁰⁹

Ils s'appuient sur une classification des mouvements corporels de H. Strehle. Celui-ci constate¹¹⁰ que la signification des conduites et des caractères se révèle par des indices et des formes extérieures. Il distingue les modalités dynamiques de l'expression (vitesse, énergie) et les caractéristiques figurales (amplitude, direction, forme). R. Francès note le rôle prépondérant des indices de mouvements apparents¹¹¹ :

« A côté des variations de vitesse et des variétés de vitesse, se situent l'instantanéité et le retard des réactions, la régularité et l'irrégularité du *tempo*, l'ampleur ou l'étroitesse des mouvements, leur direction, leur forme rectiligne ou courbe, saccadée ou arrondie dans les articulations. La motricité considérée est soit restreinte à un groupe musculaire soit généralisée lorsqu'elle dénote un type psychologique. Les suites de mouvements sont non moins instructives : le rythme peut être stéréotypé ou varié, la répétition heurtée, irrégulière ou calme et aisée, la forme peut être riche ou pauvre, la gesticulation exubérante ou limitée. »¹¹²

Ces indices de mouvement sont accessibles à la symbolisation musicale qui en utilise les traits saillants dans des schèmes cinétiques ou dans des schèmes de tension. Les chercheurs tentent de vérifier expérimentalement la base corporelle de l'expression musicale en montrant que l'audition musicale évoque des qualifications suite à l'intervention de schèmes corporels imaginaires. L'expression corporelle a pour fonction d'actualiser ces schèmes qui ont le statut de variables intermédiaires inobservables.

« Le psychologue imagine des situations diverses où l'inobservable ne devient pas pour autant observable, mais dans lesquelles il est impliqué avec une vraisemblance plus ou moins grande. »¹¹³

¹⁰⁷ FRANCÈS, Robert et BRUCHON-SCHWEITZER, Marilou, *op. cit.*, p. 158.

¹⁰⁸ A l'appui d'une théorie explicative de l'expression musicale fondée sur des styles d'activité motrice -schèmes cinétiques- ou des degrés de tension et de détente corporels imaginaires évoqués chez les auditeurs.

¹⁰⁹ *Ibidem.*

¹¹⁰ STREHLE, Hermann, "Analyse des Gebarens, Körperbewegung und -haltung", *Ber. Kongr. disch. Ges. Psychol.*, Leipzig, 13, 1934, p. 175-177.

¹¹¹ Auxquels il faudrait joindre d'autres manifestations inapparentes connues par les sensibilités proprioceptives, intérocéptives et protopathiques.

¹¹² FRANCÈS, Robert et BRUCHON-SCHWEITZER, Marilou, *loc. cit.*

¹¹³ *Idem.*

Un schéma opérationnel¹¹⁴ complexe vise à comparer deux types d'actualisation. Une série de trois expériences est menée à partir de deux stimuli différents :

- à partir d'extraits musicaux¹¹⁵ :

Expérience 1 : les auditeurs associent des extraits musicaux à des qualificatifs ;

- à partir de films d'expression corporelle d'acteurs tournés dans deux conditions :

Expérience 2 : l'expression corporelle est induite par l'audition des extraits musicaux ;

Expérience 3 : les acteurs miment les qualificatifs associés à la musique issus de l'exp.1.

Ces films sont présentés sans musique à des spectateurs qui associent les expressions corporelles avec des qualificatifs issus de l'expérience 1. Seule l'expression corporelle perçue sert de médiateur à l'expression musicale, direct dans l'expérience 2, indirect dans l'expérience 3. Les réponses données par les sujets suite à l'écoute de la musique (A) ou suite au visionnage de films (B) indiquent une équivalence partielle entre les qualificatifs associés à la musique et ceux associés aux vidéos enregistrées sous les deux conditions¹¹⁶. Des acteurs parviennent par leurs mouvements à transmettre aux spectateurs une expression musicale, ce qui suggère l'existence d'un noyau corporel de l'expression musicale. Dans l'ensemble, l'audition de fragments musicaux très variés est la source d'évocation de situations, d'états psychologiques ou de sentiments opposés soit par le style cinétique corporel, soit par des thymies positives ou négatives à divers degrés correspondant à des degrés de tension et de détente psychique. Les auteurs en déduisent que

« L'audition musicale suscite des schèmes cinétiques imaginaires (ou peut-être préconscients) que l'on peut réaliser par l'expression corporelle ; ces schèmes sont porteurs de significations affectives et situationnelles que le langage verbal peut coder. »¹¹⁷

L'idée de schèmes cinétiques temporels corporels est également soutenue par L. Van Noorden¹¹⁸. Ces schèmes fondamentaux déterminent la physionomie générale des mouvements. Leur exploration pourrait donc fournir des indications sur la manière dont le *mouvement* musical se traduit en mouvement du corps mais également sur la manière dont ces schèmes peuvent générer chez l'auditeur un ensemble de caractéristiques cinétiques générales qui entretiendraient une relation étroite avec certains éléments à la base des émotions humaines.

¹¹⁴ *Ibidem*, p. 159.

¹¹⁵ 6 extraits (de 30 à 90 secondes) d'œuvres de Franck, Mozart, Stravinsky, Bartok, Berlioz, *id.*, p. 168.

¹¹⁶ Toutefois, cette équivalence est moindre entre résultats issus de l'écoute de la musique (exp.1) et ceux obtenus de la vision des films inspirés de la musique (exp. 2).

¹¹⁷ *Ibid.*, p. 168.

¹¹⁸ VAN NOORDEN, Leon, « Le mouvement à l'origine du musical, Pourquoi la musique nous fait bouger », 2007, www.rythme.be, le 03/08/2013.

- **Les formes expressives dynamiques**

M. Clynes relie musique et mouvement au domaine émotionnel en combinant musicologie, neurophysiologie et neurosciences. Ses recherches sont focalisées sur le rythme, « répétition dans l'espace, dans le temps, ou dans les deux »¹¹⁹, sous l'angle de la production, la perception, l'imagination, l'expérimentation, l'expression dans le son, le mouvement et les relations son-mouvement corporel. Il constate que de nombreux travaux¹²⁰ centrés sur les propriétés auditives de groupement rythmique, avec notamment l'effet d'accents et de durées, ont omis d'étudier les fonctions de la pulsation, subtiles mais essentielles à la vitalité de l'expérience rythmique. En 1967, il développe la notion de *formes essentielles*¹²¹, des formes dynamiques temporelles propres à chaque émotion de base. Elles peuvent être enregistrées sous forme de courbes par un appareil transducteur de pression, le *sentographe* : un bouton sensible à la pression du doigt en direction verticale et horizontale est relié à un ordinateur qui enregistre la pression dans le temps et la moyenne des cycles de pression successifs.

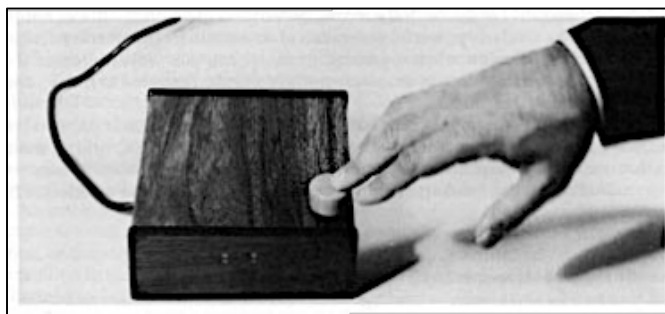


Figure 19: Le sentographe de M. Clynes, appareil de mesure des formes expressives dynamiques¹²²

Les sujets pressent rythmiquement l'appareil en imaginant des émotions de base. Constatant que les courbes de pression produites varient selon les émotions, M. Clynes identifie les formes dynamiques spécifiques que peuvent communiquer les émotions humaines de base et prétend que ces formes peuvent elles-mêmes générer des émotions, par répétition. Il étend le domaine d'application des formes essentielles à la musique. A l'appui de la théorie de l'art de S. K. Langer, il soutient que ces formes fonctionnent dans des modes

¹¹⁹ CLYNES, Manfred and WALKER, Janice, "Neurobiologic functions of rhythm, time, and pulse in music", *Music, Mind, and Brain : The neuropsychology of Music*, ed. Manfred Clynes, New York, Plenum Press, 1982, p. 171.

¹²⁰ L'analyse du rythme uniquement en termes de fort et faible (Lerdahl & Jackendoff 1980 ; Cooper & Meyer 1960) ne peut rendre justice aux grandes subtilités de timing relatif d'accents et aux détails de formes de la pulsation, qui déterminent son caractère réel. Selon M. Clynes, cette faiblesse, inhérente à l'analyse basée sur les partitions écrites dont la capacité de notation est limitée, est moins préoccupante en ce qui concerne l'analyse harmonique mais devient sévère dans l'analyse rythmique ainsi que dans l'analyse expressive.

¹²¹ 'Essentics forms', in CLYNES, Manfred, *Sentics: The touch of the emotions*, New York, Doubleday, 1977.

¹²² CLYNES, Manfred, "Sentics : Biocybernetics of Emotion Communication", *Annals of the New York Academy of Sciences*, New York, vol. 220, 1973, p. 55-131.

variés d'expression spatio-temporelle et peuvent générer une émotion par la forme sonore de la musique, par le geste, par la danse. Mesurées par le toucher via le sentographe, les formes essentielles peuvent être transformées en sons qui expriment la même émotion en conservant la forme dynamique. En 1969, il pousse plus avant les idées de G. Becking en affirmant qu'il existe en musique une forme de pulsation motrice propre à chaque compositeur et que l'on retrouve dans ses différentes œuvres indépendamment de l'interprète. Cette pulsation est définie comme un aspect particulier qui véhicule les manifestations les plus intimes de la personnalité du compositeur. Pour déterminer la forme de pulsation de compositeurs comme Beethoven, Mozart et Schubert, des musiciens d'exception pressent rythmiquement le sentographe en se remémorant une de leurs œuvres. L'analyse des formes obtenues¹²³ indique un schème propre à chaque compositeur.

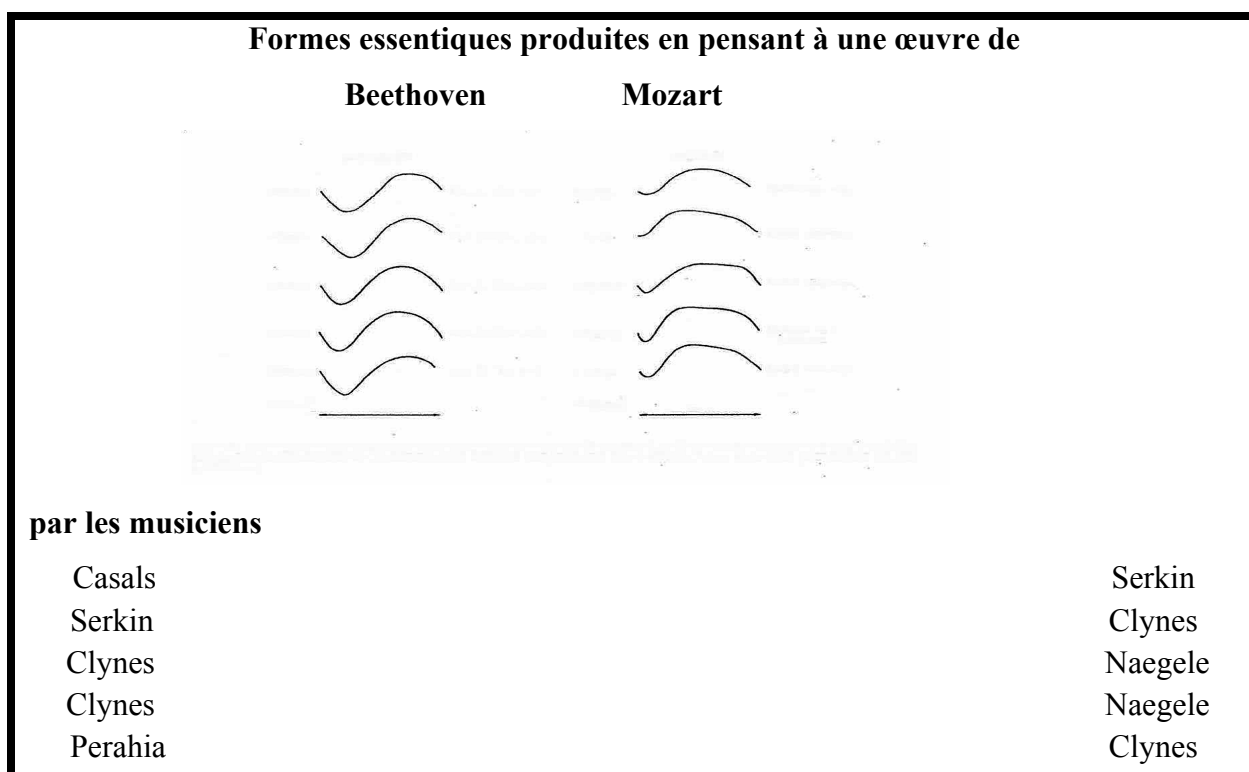


Figure 20: Formes essentielles, réponses moyennes du sentographe par des musiciens d'exception¹²⁴

M. Clynes combine sa théorie des émotions et sa théorie des pulsations propres à chaque compositeur, soutenant que la pulsation interne de la musique agit comme une matrice autorisant ou excluant certains types de formes essentielles. En enregistrant les mouvements conducteurs, il fait un pas de plus comparé à G. Becking qui les représentait schématiquement par des graphes. Les mouvements du doigt sur le sentographe sont différents des mouvements

¹²³ Réponses moyennes.

¹²⁴ Courbes de pression verticale pour 1 seconde, M. Clynes (1969).

du bras et du bâton de G. Becking mais tous deux semblent capturer les caractéristiques spécifiques des compositeurs : les courbes sont analogues quant au temps d'apparition, à la vitesse relative et à la profondeur du mouvement descendant. Par la quantification des pulsations, M. Clynes ouvre la possibilité de mesures empiriques. Depuis les années 70, plusieurs essais testent auprès d'auditeurs impartiaux l'effectivité de ces découvertes dans la transmission de l'individualité du compositeur. La méthode consiste à générer par ordinateur diverses performances de pièces basées ou non sur la pulsation propre au compositeur et à observer si l'auditeur préfère les performances avec la pulsation appropriée comparée à d'autres pulsations. Il résulte que les auditeurs musiciens préfèrent les performances dont la pulsation est propre au compositeur. Cependant, d'autres études présentent des résultats plus variables et laissent en suspens la question de savoir comment une pulsation propre au compositeur se manifeste dans la performance musicale humaine où de nombreux facteurs, outre l'individualité du compositeur, peuvent affecter la microstructure expressive de l'œuvre.

L'impression d'une 'forme-temps'¹²⁵

Après avoir mis l'accent sur l'évaluation perceptive et quantitative de patterns de pulsations cycliques, M. Clynes et J. Walker étudient en 1982 la fonction de transfert neurobiologique entre les patterns sonores rythmiques et les mouvements rythmiques de l'auditeur¹²⁶. Dans la production humaine du rythme musical, le mouvement est essentiel. A son tour, le rythme musical exprimé implique le mouvement : il a le pouvoir de générer des humeurs, des sentiments, des attitudes, différents types d'énergie mentale et physique. Pour étudier comment les rythmes musicaux induisent des patterns de mouvements et les modulent et comment ils affectent l'état, les sentiments et les énergies, les auteurs cherchent à comprendre comment le système nerveux central et le système neuromusculaire transforment un rythme musical en un pattern de mouvements. La fonction psychique du rythme serait liée à la manière dont les patterns sonores sont traduits par le système nerveux pour moduler les patterns neuroconducteurs qui contrôlent la forme du mouvement dans l'imagination ou dans la réalité. Dans une expérience, les sujets écoutent des patterns synthétisés par ordinateur – deux impulsions avec certaines caractéristiques de durées et d'intensité – et les suivent tout en pressant le sentographe qui permet d'étudier la sortie motrice. Les résultats indiquent que les courbes de pression varient systématiquement dans leur forme générale, montée et descente, avec les patterns sonores présentés. Il s'avère que le mouvement du doigt vers le bas qui accompagne habituellement le plus fort des sons dépend en fait de la durée entre le son le

¹²⁵ 'Time-form'. CLYNES, Manfred and WALKER, Janice, *op. cit.*, p. 176.

¹²⁶ *Ibidem*, p. 171-216.

plus faible et le son le plus fort. Le développement temporel du mouvement vers le haut dépend de la durée des notes : les patterns de sons longs induisent des mouvements lisses et arrondis, les patterns de sons courts, des mouvements droits et anguleux.

Pour mettre en lien ces résultats issus de patterns rythmiques arbitraires avec les hypothèses concernant des patterns musicaux, les auteurs font correspondre des patterns de sons à une musique jouée synchroniquement. Ils façonnent une impulsion sonore qui pourrait être représentative du rythme de musiques ethnique, rock, blues. L'hypothèse est qu'

« une forme-temps spécifique [...] donne lieu au caractère du rythme musical. [...] Cette forme-temps peut être représentée comme des notes d'amplitude modulée d'une fréquence sinusoïdale unique, l'impulsion sonore. »¹²⁷

Sur une même bande, on enregistre ces impulsions sonores sur une piste et la musique sur une autre. M. Clynes suppose qu'écouter la musique avec l'impulsion sonore adéquate renforce l'expérience musicale et que, a contrario, un appariement avec une autre impulsion sonore lui nuit. Pour tester l'adéquation rythme-mouvement, on demande à l'auditeur d'appuyer sur le sentographe quand il écoute successivement la musique puis les impulsions sonores. Les impulsions motrices résultantes semblent s'accorder relativement bien dans les deux cas. Cette similarité significative entre réponses motrices indique que le simple pattern de pulsations capte la pulsation rythmique d'une musique beaucoup plus complexe.

M. Clynes progresse dans l'objectivation du concept de pulsation avec, en 1983, l'idée que la pulsation personnelle de compositeurs peut être manifeste dans la microstructure expressive d'une performance musicale experte. Plutôt qu'analyser les performances de grands interprètes, il développe un programme informatique qui permet de jouer la musique avec différents patterns agogiques et dynamiques qui sont répétés cycliquement. Auditeur et juge, il manipule et affine ces patterns de pulsation objective dans des œuvres de Beethoven, Mozart et Schubert. Les patterns diffèrent suivant les compositeurs et semblent s'adapter à différentes compositions d'un même compositeur. Ils pourraient être caractérisés numériquement par l'amplitude de durée relative des notes à l'intérieur d'un cycle métrique.

La théorie de M. Clynes représente une contribution originale et importante à la psychologie de la musique. Toutefois, sur le plan théorique, les hypothèses qui sous-tendent son usage restent évasives¹²⁸ et sur le plan empirique, les observations sont fondées sur des

¹²⁷ *Ibid.*, p. 193.

¹²⁸ SCHERER, Klaus R. and ZENTNER, Marcel R., "Emotional effects of Music : Production Rules", *Music and Emotion, Theory and Research*, ed. John A. Sloboda and Patrik N. Juslin, Oxford University Press, 2001, p. 378.

données très limitées. Enfin, malgré une expérimentation réalisée en 1991 par B. De Vries, la validité du sentographe manque encore de preuves convergentes¹²⁹.

- **Perception du mouvement par le système vestibulaire**

Le psychologue N. Todd, spécialiste de la perception de la musique, a effectué de nombreux travaux explorant les relations intimes entre le *mouvement* de la musique et le mouvement physique. En 1992, il suggère que les sons musicaux expressifs peuvent induire la perception d'un mouvement propre chez l'auditeur via le système vestibulaire central. Il montre qu'un modèle de performances dans le temps dont la dynamique est basée sur la vitesse et la force du mouvement des objets bougeant sous l'influence de la gravité peut rendre compte de l'expression des performances musicales spontanées. Ceci rejoint l'idée de A. Truslit que les performances musicales qui imitent le comportement des objets physiques se déplaçant dans le monde réel sonnent de façon « naturelle ». N. Todd s'intéresse principalement au mouvement du corps entier. Il apporte des preuves physiologiques de l'existence de deux systèmes moteurs, ventromédial et latéral. Le premier, étroitement lié au système vestibulaire, contrôle la posture du corps et le mouvement. Quand de larges masses doivent être bougées, les mouvements sont plus lents que ceux possibles avec les extrémités – pieds, mains, doigts – qui sont contrôlés par le système latéral. Généralement, leur cycle s'étend à quelques secondes alors que les microstructures pulsées étudiées par M. Clynes sont contenues dans des cycles courts d'environ une seconde, eux-mêmes imbriqués dans des cycles plus longs, décrits par A. Truslit et N. Todd. Bien que n'ayant pas eu connaissance du travail de A. Truslit, N. Todd développe dans les années 90 des idées qui en sont proches, avec l'hypothèse de la médiatisation de la perception du *mouvement* musical par le système vestibulaire. Dans les années 2000, il montre que les organes otolithiques de l'appareil vestibulaire sont sensibles aux sons et aux vibrations¹³⁰. Il soutient qu'un sens du mouvement peut être transmis directement du son à l'auditeur¹³¹, sans aucun mouvement visible, à condition que l'intensité sonore soit supérieure au seuil de sensation¹³².

¹²⁹ B. De Vries tente d'étendre l'expérimentation de M. Clynes et de valider l'usage du sentographe. Il mesure les réponses motrices affectives de trente auditeurs écoutant onze brefs extraits musicaux. Indépendamment de leur connaissance de ces musiques, leurs patterns de pression sur l'appareil s'avèrent similaires. L'auteur en conclut que les patterns moteurs sont corrélés avec le contenu expressif de la musique. DE VRIES, Bart, "Assessment of the Affective Response to Music with Clynes's Sentograph", *Psychology of Music*, 19(1), 1991, p. 46-64.

¹³⁰ Todd, 2001 ; Todd & Cody, 2000 ; Todd *et al.* 2000, 2003, 2007, in TODD, Neil, P. McAngus and LEE, Christopher S., "Reply to « Embodied Rhythm » by Bruno Repp and « Do Preferred Beat Rate and Entrainment to the Beat Have a Common Origin in Movement ? » by Laurel Trainor", *Empirical Musicology Review*, 2(3), 2007, p. 110-112.

¹³¹ La sensibilité acoustique vestibulaire est une propriété héritée des anamniotes (poissons et grenouilles) chez qui les organes otolithiques sont les organes primaires de l'audition. Elle est présente chez tous les vertébrés ; ce phénomène ne serait donc pas unique chez l'homme. TODD, Neil, P. McAngus, MERKER Björn H., "Siamang

2.2.2.3 *Recherches contemporaines : interactions intermodales musique-mouvement corporel*

Ces dernières années ont révélé un intérêt croissant de divers domaines d'études pour le rôle des interactions intermodales dans la musique, en particulier dans les associations de la musique avec l'espace physique et le mouvement corporel. Le recours à des technologies modernes de capteur de mouvements corporels et le développement de puissants outils informatiques ouvrent un vaste domaine de recherches musicologiques axées sur le geste et la production musicale et sur les mouvements effectués durant l'écoute musicale qui nous intéressent au premier chef. Les travaux expérimentaux sont encore exploratoires et les expériences indicatives, à défaut d'être étendues à une population suffisante.

Dans ses recherches sur les gestes musicaux, R. I. Godøy est particulièrement attentif au rôle crucial du mouvement humain dans la perception et la cognition du son musical. Dans les années 2000, il développe la notion d'élément *moteur-mimétique*¹³³ qui signifie que

« [...] nous imitons mentalement les actions produisant les sons lorsque nous écoutons attentivement la musique, ou que nous pouvons nous imaginer être en train de tracer ou de dessiner activement les contours de la musique telle qu'elle se déroule. »¹³⁴

Son approche peut se résumer par cette citation qui rend bien compte du couplage entre le son et le mouvement :

« Le mimétisme moteur traduit le son musical en images visuelles par une simulation des actions produisant les sons, aussi bien les sons singuliers que les phrases musicales et les textures les plus complexes, formant les programmes moteurs qui recodent et aident à stocker le son musical dans nos pensées. »¹³⁵

En 2005, L. De Bruyn s'intéresse à la synchronisation et l'harmonisation graphique d'enfants à des aspects rythmiques ou mélodiques d'extraits musicaux¹³⁶. L'objectif majeur vise à comparer les productions graphiques sur des tablettes électroniques d'enfants autistes à celles d'un groupe contrôle. Les résultats indiquent peu de différences entre les groupes : la majorité des sujets parvient à accorder la production graphique avec des aspects rythmiques et

gibbons exceed the saccular threshold: intensity of the song of *Hylobates syndactylus*», *Journal of the Acoustical Society of America*, 115(6), Juin 2004, p. 3077-3080.

¹³² Niveau de sensation d'environ 70 dB pour les sons conduits dans l'air et 30 dB pour la conduction par les os.

¹³³ GODØY, Rolf Inge, "Motor-mimetic images of musical sound", *9th International Conference on Music Perception and Cognition*, M. Baroni, A. R. Addessi, R. Caterina, M. Costa, Bologna, 22-26 August 2006, p. 781.

¹³⁴ GODØY, Rolf Inge, "Motor-Mimetic Music Cognition", *Leonardo* 36, 4, 2003, p. 317-318.

¹³⁵ Traduction de l'auteur. "Motor-mimesis translate from musical sound to visual images by a simulation of sound-producing actions, both of singular sounds and of more complex musical phrases and textures, forming motor programs that re-code and help store musical sound in our minds.", *Ibid.*

¹³⁶ LEMAN, Marc, *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*, Cambridge, MIT Press, 2008, p. 119-120.

mélodiques¹³⁷. Dans le cas d'harmonisation graphique au rythme de la musique, la figure suivante présente quatre productions différentes : dans la colonne de gauche, les dessins sont tels qu'ils sont apparus sur la tablette graphique, avec les coordonnées x et y. Dans la colonne de droite, les représentations graphiques présentent le développement du tracé des dessins ($Y = x+y$) dans le temps ($X = \text{time}$) :

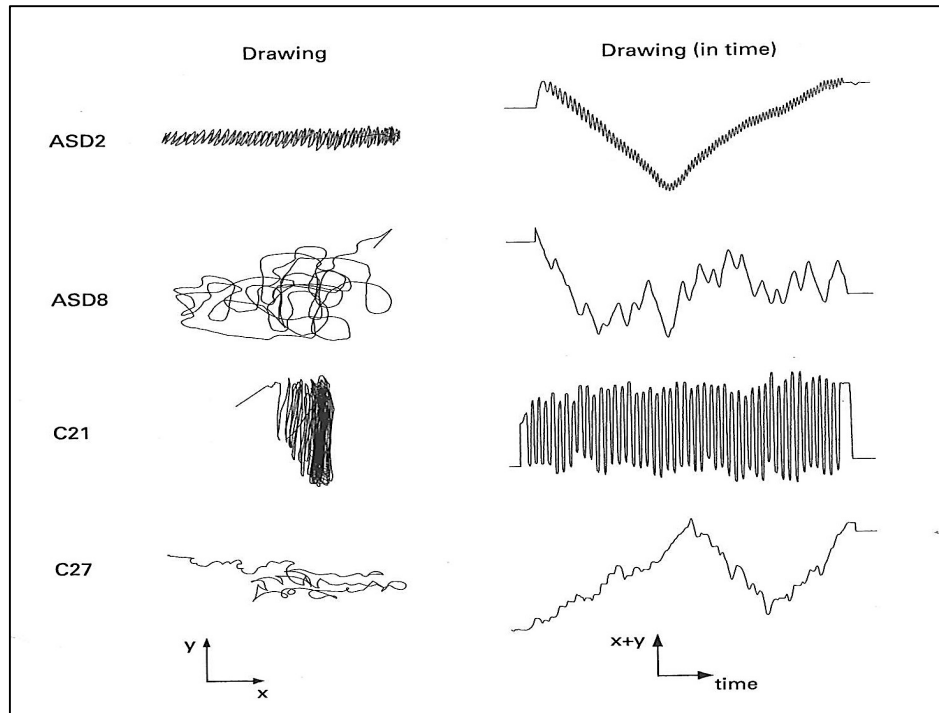


Figure 21: Représentations graphiques du rythme d'un extrait musical par des enfants autistes (AS) comparé à un groupe témoin (C)¹³⁸

Deux sujets, ASD2 et C21, développent un pattern d'harmonisation similaire, avec des mouvements rapides d'aller-retour en réponse à la pulsation. Les mouvements circulaires des deux autres sujets sont nettement moins focalisés sur le battement de la musique.

En 2006, R. I. Godøy, E. Haga et A. R. Jensenius s'intéressent au 'Air instrument', mouvements d'imitation des gestes de production des sons¹³⁹. Ils filment des auditeurs de divers niveaux d'expertise jouant du *air piano* sur des extraits musicaux variés puis ils analysent les correspondances entre ces images de mouvements corporels et les sons écoutés. Une correspondance semble généralement bien établie entre les mouvements des auditeurs et

¹³⁷ L'accordage avec la mélodie est souvent plus précis chez les sujets autistes. Des résultats de recherches antérieures (Heaton *et al.* 1998, 2001, Bonnel *et al.* 2003) montrent que ces sujets ont une sensibilité accrue aux hauteurs qui leur permet d'effectuer de meilleures catégorisations et discriminations de hauteur que le groupe contrôle. Ils portent une plus grande attention aux notes de la mélodie qu'au contour mélodique. *Ibidem*, p. 121.

¹³⁸ *Ibid.*, p. 119.

¹³⁹ GODØY, Rolf Inge, HAGA, Egil, JENSENIUS, Alexander Refsum, "Playing 'Air Instruments': mimicry of soundproducing gestures by novices and experts", 2006, www.duo.uio.no, le 01/12/2013.

les mouvements requis par la production de la musique en termes de série et de hauteur, *i.e.* le mouvement horizontal sur le clavier imaginaire. La plus forte corrélation entre musique et mouvement est observée dans la *correspondance de l'activité générale*, *i.e.* la densité de gestes en relation avec la densité des attaques dans la musique, et dans la *correspondance de série*, *i.e.* la synchronisation avec le battement ou le niveau d'événements¹⁴⁰. Concernant la dynamique, l'amplitude et la vitesse des mouvements du corps, des bras, des mains sont en relation avec l'intensité et avec des détails plus fins de l'articulation musicale. Le rendu gestuel des experts est généralement plus détaillé.

A la même période, F. Styns et L. Van Noorden cherchent à mesurer la synchronisation de l'auditeur à la musique par une technique d'enregistrement des mouvements du bras¹⁴¹. L'étude exploratoire est menée auprès de 211 sujets qui écoutent deux fois un extrait de marche, des fragments métronomiques et un *andante* de musique baroque pour cordes. Les auditeurs, debout avec des casques audio, bougent un *joystick* suivant la musique. Il s'avère qu'ils recourent à une série limitée à trois formes de mouvement en réponse au battement musical des stimuli musicaux :

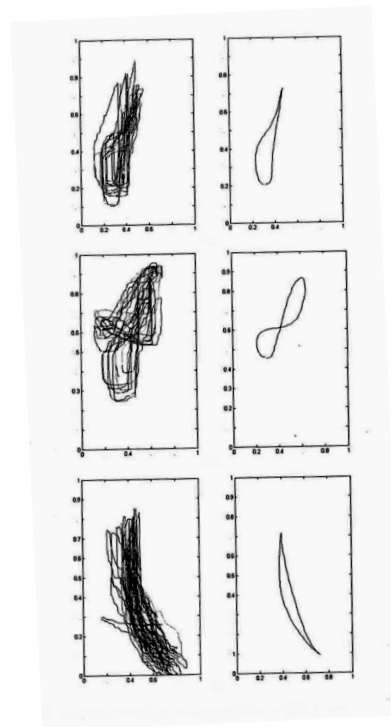


Figure 22: Formes bidimensionnelles des mouvements du bras en réponse à un stimulus musical¹⁴²

¹⁴⁰ « Événements » signifie ici les points saillants dans les cas de musiques non périodiques.

¹⁴¹ Van NOORDEN, Leon, “The functional role and Bio-kinetics of Basics and Expressive Gestures in Activation and Sonification”, *Musical Gestures Sound, Movement, and Meaning*, ed. Rolf Inge Godøy and Marc Leman, New York, Routledge, 2010, p. 166-169.

¹⁴² Le mouvement moyen, à droite, est calculé à partir de tous les mouvements superposés, côté gauche. Van NOORDEN, Leon, “Activation and Sonification”, in *ibidem*, p. 168.

Ces traces de mouvements ont une forme proche des trois courbes générales de G. Becking déterminées dès 1928 : elles confirment la découverte précoce d'un nombre restreint de mouvements de bras couplés aux stimuli musicaux.

En 2007, A. R. Jensenius mène une étude sur les mouvements associés aux sons par les auditeurs¹⁴³. Il suppose que les sujets, musiciens ou non, peuvent saisir rapidement les principales propriétés musicales et (re)produire des mouvements qui correspondent à certaines de ces propriétés. Il propose à des sujets d'effectuer des traçages de son¹⁴⁴, *i.e.* des représentations réduites de caractéristiques sonores perceptivement saillantes, à l'aide d'un stylo sur une tablette graphique. A quels types de caractéristiques sonores les sujets répondent-ils et comment les tracent-ils sur la tablette ? L'hypothèse est que les traçages sonores relèvent de deux stratégies principales qui concernent l'imagerie motrice de la perception sonore : l'une, de production du son, l'autre, de contour sonore. La sélection des sons¹⁴⁵ vise à faciliter l'analyse ultérieure des correspondances entre sons et tracés. Les deux stratégies de traçage sont appliquées aux sons et produisent deux catégories : des sons impulsifs, soutenus ou itératifs, suivant l'action de production, et des sons stables, changeants ou indéfinis¹⁴⁶, suivant les contours de hauteur et le contenu timbral/textural. Ces sons courts¹⁴⁷ sont rangés par ordre croissant de complexité¹⁴⁸ en deux séries – 30 sons simples et 20 sons composites – chaque son étant espacé d'un silence d'une durée égale au son précédent. Neuf auditeurs de différents niveaux d'expertise musicale écoutent le son puis dessinent le mouvement qu'ils lui associent durant le silence qui suit. Les résultats indiquent que les traçages sont plus similaires pour les extraits sonores à caractéristique unique que pour ceux à caractéristiques multiples. En particulier, des résultats sont divergents pour des sons de hauteur avec changements de timbre : certains auditeurs dessinent une ligne droite, d'autres, des lignes courbes variées. Dans les traçages du son de cymbale (cf. *infra*), on repère deux stratégies : l'imitation de l'action de production du son -pression résultant en un point, et le tracé de propriétés sonores suivant le profil d'intensité et la circularité perçue dans le timbre.

¹⁴³ JENSENIUS, Alexander Refsum, *Action-Sound, Developing Methods and Tools to Study Music-Related Body Movement*, Ph. D. thesis, Department of Musicology, University of Oslo, 2007, www.duo.uio.no/publ/IMV/2007, le 17/11/2012, p. 82-92.

¹⁴⁴ 'Sound-Tracing', rendu de qualités perceptives de courts objets sonores par le mouvement corporel. GODØY Rolf Inge, HAGA, Egil, JENSENIUS, Alexander Refsum, "Exploring Music- Related Gestures by Sound-Tracing. A Preliminary Study", 2006, www.duo.uio.no, le 01/12/2013.

¹⁴⁵ A partir de compilations de sons de Schaeffer (1998) et de Delalande *et al.* (1996), de diverses banques de sons échantillonnés et de deux extraits de sons musicaux plus complexes (*Hyperprisme* de E. Varèse et *Concertino pour 12 instruments* de I. Stravinsky).

¹⁴⁶ Par exemple, une note tenue à la trompette est caractérisée comme continue concernant l'enveloppe globale et stable/sans changement par rapport à la hauteur et au timbre/texture.

¹⁴⁷ De 2 à 6 secondes.

¹⁴⁸ Les différentes caractéristiques saillantes sont rangées d'une (des contours de hauteur variés) à plusieurs (textures plus composites et changements de timbre, densité des attaques).

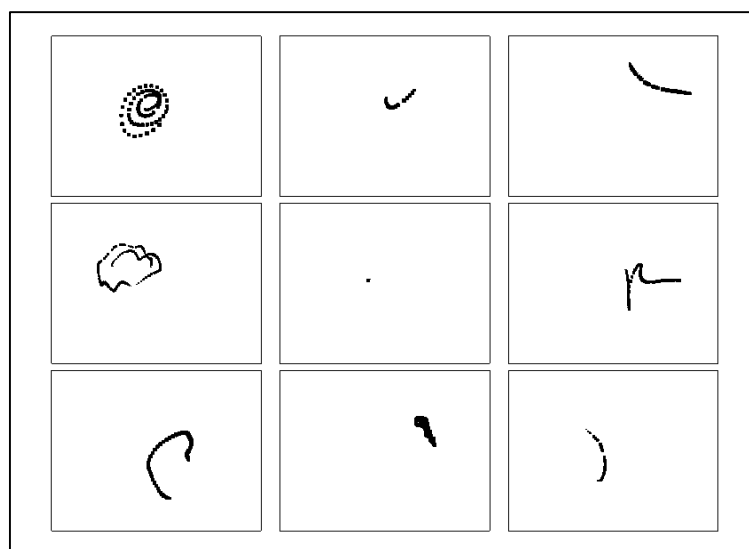


Figure 23: Traçages d'un son de cymbale par 9 sujets, selon A. R. Jensenius¹⁴⁹

Si tous les participants produisent un traçage sonore, le niveau de résolution des rendus est variable, les gestes de correspondance avec les sons musicaux étant précis et détaillés ou très approximatifs. Le son musical est lui-même souvent intrinsèquement « multirésolution », avec la juxtaposition d'événements à différentes échelles de temps. La variabilité de l'acuité dans le rendu gestuel de sons musicaux peut donc être analysée comme une manière de focaliser sur différentes échelles de son musical. Quelques auditeurs expriment leur frustration à devoir rendre en deux dimensions ce qu'ils ont expérimenté comme multidimensionnel, les contraignant à des choix représentationnels.

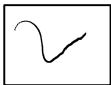

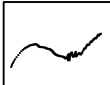
En 2008, E. Haga poursuit l'analyse du précédent corpus de traçages sonores¹⁵⁰. Dans une étude inter-juges, il cherche le degré avec lequel de nouveaux sujets peuvent s'accorder sur les correspondances a posteriori entre ces tracés et un son. L'hypothèse est que le son permet de produire un mouvement suivant l'évolution de ses caractéristiques dans le temps. Il propose à 20 sujets¹⁵¹ d'observer chaque série de traçages sonores puis d'écouter le son dont ils émanent afin d'estimer quelles traces lui correspondent le mieux. Les résultats confirment l'hypothèse : les mouvements dessinés dans les traçages sonores sont compris comme reflétant certains changements perçus dans les sons. L'auteur analyse la sensibilité des évaluateurs aux changements des caractéristiques de hauteur, de timbre, de production du son et de densité des attaques (*Inter Onset Interval*)¹⁵². Les formes dessinées font allusion à

¹⁴⁹ JENSENIUS, Alexander Refsum, *op. cit.*, p. 88.

¹⁵⁰ HAGA, Egil, *Correspondences between Music and Body Movement*, Ph.D. Thesis, Department of Musicology, University of Oslo, 2008, www.duo.uio.no, le 01/12/2013, p. 170.

¹⁵¹ Pour la plupart étudiants en musicologie.

¹⁵² Intervalles entre les frappes.



l'évolution de la hauteur¹⁵³ du son  ; de la dynamique du son  ; des timbres . Les traçages de sons reflètent l'évolution des caractéristiques sonores :

Caractéristiques du son	Caractéristiques du traçage
Changements de hauteur	Direction Forme (abrupt ou graduel)
Timbre	Constant/cassé/décheté/lumineux/ferme
Production : Durable, tenue Réitérée	Longueur de la ligne : Ligne droite Ligne brisée
Densité d'apparition d'impulsions (IOI)	Irrégularité

Tableau 16: Traçage de sons : liens entre caractéristiques sonores et graphiques

En 2008, M. Leman consacre une étude à la relation entre le jeu sur instrument acoustique et l'harmonisation corporelle avec les sons résultants¹⁵⁴. L'interaction musicale est considérée ici en termes de communication entre un musicien et un auditeur, l'instrument de musique étant le médiateur. Il s'agit de mettre en évidence des liens entre les intentions de contrôle gestuel du musicien encodées dans les formes sonores en *mouvement* et la perception incarnée de l'auditeur, supposant que celui-ci est capable de décoder des intentions expressives du musicien sur la base de résonances corporelles avec les formes sonores implicites. Le système moteur qui encode et décode les formes sonores en *mouvement* est similaire entre musicien et auditeur. Ces processus d'encodage-décodage sont supposés permettre la communication d'actions intentionnelles. Du point de vue production musicale, l'auteur analyse le jeu du *Guqin*, un instrument à cordes chinois dont les sons reflètent directement¹⁵⁵ le contrôle gestuel subtil du musicien. Les mouvements du musicien – préparatoires, d'anticipation et gestes auxiliaires – ne sont pas encodés ; seule une part des gestes de contrôle apparaît dans la structure du son. Les mouvements élémentaires du musicien, définis comme mouvement d'une partie du corps entre deux points, sont caractérisés par un pattern de vitesse. Ils sont enregistrés au moyen d'un système de caméras infrarouges¹⁵⁶ puis rapprochés du sonagramme de la musique *Guqin*. Les courbes de vitesse reflètent la grande précision des répétitions de séquences de mouvements. Du point de vue de

¹⁵³ Quant au changement de hauteur, les évaluateurs sont sensibles aux directions et aux formes des dessins,

préférant la courbure du tracé de gauche que de droite :  versus .

¹⁵⁴ LEMAN, Marc, *op. cit.*, p. 142-162.

¹⁵⁵ Sans recours à l'archet et sans frettes.

¹⁵⁶ *Ibid.*, p. 148.

l'auditeur, selon M. Leman, les sons définissent des indices proximaux, les actions du musicien, des indices distaux. Il s'agit d'observer dans quelle mesure l'auditeur est capable de capturer les aspects fonctionnels et intentionnels encodés dans les formes sonores en *mouvement*. Deux auditeurs¹⁵⁷ bougent une baguette en accord avec la musique du *Gugin* :

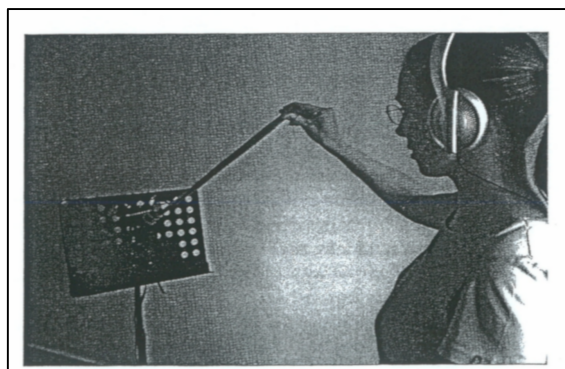


Figure 24: Capture des mouvements de baguette de l'auditeur

Ces mouvements de baguette sont enregistrés et réduits à deux dimensions dans des représentations graphiques :

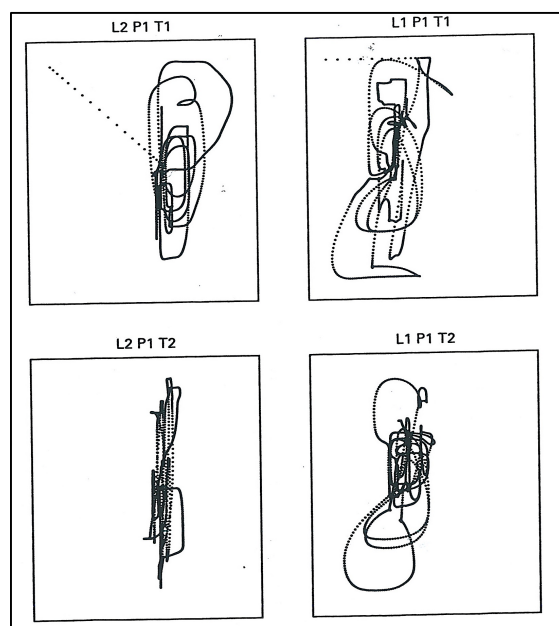


Figure 25: Réduction en deux dimensions des mouvements de baguette de l'auditeur¹⁵⁸

Les courbes de vitesse dérivées de ces mouvements sont ensuite rapprochées du sonagramme. L'analyse du comportement des auditeurs montre que les articulations corporelles diffèrent entre les deux sujets mais chacun peut répliquer sa propre vitesse très

¹⁵⁷ L'un des auditeurs (L1) connaît très bien le fragment musical écouté sans être expert de musique chinoise. L'autre (L2) est novice.

¹⁵⁸ Les axes X et Y représentent les mouvements horizontaux et verticaux (L: auditeur ; T: essai ; P: pièce), *Ibid.*, p. 155.

précisément, ce qui suggère que la vitesse du mouvement est une caractéristique hautement idiosyncrasique. La synchronisation du mouvement avec les caractéristiques du son est une expression du comportement de résonance avec l'énergie musicale. Deux types de synchronisation sont observés, soit avec l'attaque d'une note, soit en lien avec des caractéristiques dans la note, par exemple des effets de glissement. Musicien et auditeur sont donc capables d'établir une relation d'échange d'informations au niveau de l'action. Par l'accordage corporel, l'auditeur peut exprimer l'intentionnalité perçue dans la musique, qui peut être mesurée et étudiée. Les relations étroites entre les mouvements du musicien et de l'auditeur requièrent des études supplémentaires.

En 2010, R. I. Godøy tire les conséquences des recherches sur les gestes accompagnateurs de sons¹⁵⁹ et donne un aperçu de l'appareil conceptuel de détection et de classification de caractéristiques sonores perceptivement saillantes qui permettent d'associer des gestes aux sons musicaux. Il considère que des « schémas d'énergie » sont à l'œuvre dans la perception et la cognition du son musical. Les sensations de la plupart des gestes évoqués par le son musical peuvent varier d'expériences d'entraînement fortes et énergétiques à des expériences de relaxation profonde. Des sensations de mouvement peuvent aussi parfois être dues à des entrées vestibulaires en raison de mouvements de tête induits soit par nos propres mouvements, soit par les mouvements de quelqu'un d'autre ou encore par d'autres forces¹⁶⁰. Tout ce qui bouge dans le paysage sonore de la musique permet potentiellement des réponses gestuelles de l'auditeur qui varient selon son expertise ou sa connaissance des actions de production du son. Une synchronisation entre les événements musicaux et les mouvements corporels d'accompagnement du son est fréquemment observée, un extrait musical pouvant présenter différentes caractéristiques¹⁶¹ avec lesquelles se synchroniser. Un même son peut engendrer différents gestes d'accompagnement mais, dans la plupart des cas, les gestes tendent à refléter et à se synchroniser avec des événements et des traits particulièrement saillants dans la musique. Deux types de gestes associés aux sons, des gestes de production et des gestes d'accompagnement de sons, peuvent être considérés comme appartenant à trois catégories¹⁶² : geste itératif (répétition rapide de petits mouvements simples comme la production de *trémolo*) ; geste impulsif (efforts discontinus, coups de pied, mouvements de bras, par exemple, des accentuations rapides de *Tutti* des cordes synchronisées) et geste soutenu (efforts continus, par exemple un *crescendo* continu).

¹⁵⁹ GODØY, Rolf Inge, "Gestural affordances of Musical Sound", in GODØY, Rolf Inge and LEMAN, Marc (ed.), *op. cit.*, p. 103-125.

¹⁶⁰ Comme celle d'être sur un bateau.

¹⁶¹ Couches de texture et échelles de temps, au niveau de la pulsation, de la mesure, de la phrase ou de la période.

¹⁶² Ces catégories de gestes sont assez distinctes en termes de biomécanique et probablement en termes de contrôle moteur, ainsi que dans leurs effets auditifs.

Pour étudier la plupart des propriétés du son musical en relation avec leurs potentiels gestuels, les caractéristiques des sons sont considérées comme des *formes de trajectoires dans le temps et l'espace* qui reflètent les catégories d'action de base – soutenue, impulsive, itérative. Cet usage métaphorique de concepts spatiaux semble s'appliquer à plusieurs caractéristiques du son musical – intensité, tempo, texture, *etc.* – mais aussi à des sensations plus générales et composites comme l'augmentation ou la baisse de tension. Des propriétés du son musical peuvent être rendues gestuellement comme suit :

Caractéristiques du son	Rendu gestuel
Attaques	Singuliers ou fusionnés dans des groupes par phase de transition ou de coarticulation quand plusieurs attaques apparaissent en succession rapide
Battement/impulsion	Incitation au mouvement
Patterns cycliques	Répétition de gestes répétitifs
Accents et articulations	Energie, saccade
Contours dynamiques <i>Crescendo/decrescendo</i>	Amplitude Accroissement/décroissance
Contours de hauteur	Mouvements sur instruments
Contours de tessiture	Changements de position et répartition sur l'instrument
Contours de timbre	Changements variés de formes de l'effecteur, de position d'archet, <i>etc.</i>
Modulations	Retour rapide et mouvement en avant d'effecteurs comme dans le <i>vibrato</i> ou le <i>tremolo</i> ou mouvement plus lent dans des patterns texturaux variés
Ornements, patterns de texture (trilles, arpèges, <i>etc.</i>)	Une part de gestes dans la performance.

Tableau 17: Rendu gestuel de propriétés musicales, selon R. I. Godøy

L'auteur souligne une interdépendance dans la perception de certaines caractéristiques, par exemple, un *crescendo* peut être perçu comme un *accelerando* même sans accroissement réel de tempo.

En 2011, K. Nymoen *et al.* poursuivent l'exploration des traçages sonores¹⁶³ en présentant 18 sons courts à 38 participants ayant reçu la consigne de déplacer leurs mains dans l'air comme s'ils créaient le son par leurs propres mouvements. Le système de capture du mouvement est constitué d'une poignée électronique¹⁶⁴ :

¹⁶³ 'Sound Tracings', NYMOEN, Kristian, TORRESEN, Jim, GODØY, Rolf Inge and JENSENIUS Alexander Refsum, "A Statistical Approach to Analyzing Sound Tracings", 2011, www.duo.uio.no/bitstream, le 05/05/2013.

¹⁶⁴ *A qualysis optical infrared marker-based motion capture system*, NYMOEN, Kristian, *Methods and Technologies for Analysing Links Between Musical Sound and Body Motion*, thèse de doctorat, 186 p., www.duo.uio.no/handle/10852/34354, le 01/11/2013, p. 153.

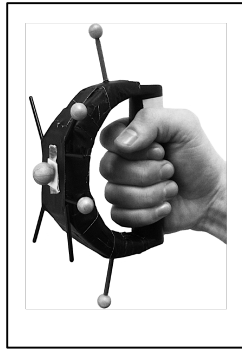


Figure 26: Capture du mouvement d'une poignée électronique

Les mouvements sont analysés statistiquement de manière à comparer les résultats entre différentes classes de son et entre différents sujets. Globalement, plusieurs relations sons-mouvements sont présentes chez la majorité des sujets, les experts réagissant 75 ms en moyenne avant les autres. Des sons impulsifs, accentués, engendrent une accélération des mouvements. Les sons à hauteur indéterminée semblent induire une accélération supérieure que les sons avec hauteur. La fréquence des sons induit des mouvements verticaux.

R. I. Godøy *et al.* cherchent en 2012 à établir un classement des 'actions liées à la musique'¹⁶⁵, *i.e.* des patterns de sons combinés à des mouvements corporels, d'une durée de 0,5 à 5 s. A terme, ce groupe de musicologues et d'informaticiens vise à créer une base de données de mouvements¹⁶⁶ liés à la musique, s'appuyant sur le fait que les propriétés du son peuvent être liées aux propriétés du mouvement du corps humain. Les auteurs proposent un classement des propriétés de l'action et des propriétés du son.

➤ Classement des propriétés de l'action

- Classification fonctionnelle

- Action de production du son¹⁶⁷ : traditionnellement, il y a transfert d'énergie du corps à l'instrument¹⁶⁸.

- Action d'accompagnement du son¹⁶⁹ : souvent, elles ont des propriétés observables de correspondance avec le son (synchronicité du mouvement avec le rythme, mouvements qui tracent les propriétés dynamiques, rythmiques, mélodiques et parfois timbriques). Ces actions tendent à imiter les actions de production du son ou reflètent les propriétés résultantes du son ou des propriétés globales, affectives.

¹⁶⁵ GODØY, Rolf Inge, *et al.* "Classifying Music-Related Actions", *12th International Conference on Music perception and cognition*, July 23-28, 2012, Thessaloniki, p. 352-357.

¹⁶⁶ On recense actuellement deux bases de données de capture de mouvements corporels : dans le domaine général, *mocap.cs.csm.edu*, dans le domaine musical, *fourms.uio.no*.

¹⁶⁷ Actions d'excitation et de modulation. On distingue les actions auxiliaires, de facilitation du son et de communication.

¹⁶⁸ Ce lien de transfert d'énergie est plus court avec la musique électronique.

¹⁶⁹ Danser, marcher, gesticuler, etc.

- Classification des contenus

- Cahier des charges en fonction des sujets, milieu socio-culturel, soliste ou groupe, type d'instruments joués, contexte, etc.

- Classement du contenu de l'enregistrement du mouvement, lui-même dépendant du système de capture.

- Informations sur les données.

- Echelles de temps

Trois grandes catégories : micro, de 0 à 0,5 s ; méso, de 0,5 à 5 s : unités d'actions ou de formes d'actions¹⁷⁰ ; macro : concaténations d'unités d'action de niveau médian.

- Notion de *motiongrams*¹⁷¹

Des images qui montrent le mouvement sur une durée plus ou moins longue contiennent des informations sur le mode de mouvement, l'affect, le style, etc. par des propriétés de qualité de mouvement : mesure globale de quantité de mouvement et amplitude, indice de fluidité ou de secousses¹⁷².

- Modèles de classement envisagés

- Classement et comparaison fondés sur la forme (postures et trajectoires).

- Classification booléenne (catégories binaires de position relative de marqueurs).

- Alignement temporel dynamique (comparaison des actions de durées différentes, par alignement dans le temps d'événements similaires).

- Classement des propriétés pertinentes du son

- Typologie et morphologie du son

Trois classes de sons correspondent aux propriétés de l'action : sons soutenus, sons impulsifs et sons itératifs. Les propriétés sonores peuvent être vues comme étant intégrées dans des formes de trajectoires d'action, donc comme ayant elles-mêmes une forme.

- Représentation du son

Tous les sons et les propriétés sonores peuvent être inclus dans des trajectoires d'action et liés à des formes d'action. Il est donc nécessaire de représenter des caractéristiques sonores comme des formes. Dans bien des cas, la notation traditionnelle est limitée. Le spectrogramme de sons enregistrés semble le mieux adapté pour informer sur les formes de propriétés sonores. Toutefois, il requiert encore des traitements supplémentaires pour fournir des images qui reflètent la forme de ce qui est perçu subjectivement.

¹⁷⁰ Toutefois, la question des critères de segmentation des unités d'action reste posée.

¹⁷¹ Signe écrit du mouvement.

¹⁷² Dérivée de l'accélération.

2.2.2.4 Bilan : apports théoriques et méthodologiques

Ces recherches ne traitent pas spécifiquement du *mouvement* du rythme mais s'appuient sur des concepts qui en sont approchants : *mouvement intérieur*, schèmes cinétiques, formes *essentiels*, forme-temps, éléments moteurs mimétiques, schémas d'énergie. Souvent originales sur le plan méthodologique, les expériences sont exploratoires et recourent à des méthodes et outils innovants. Bien qu'aucune méthode d'analyse ne puisse parvenir à mesurer l'entière multidimensionnalité de la musique et du mouvement corporel, les systèmes de capture du mouvement ont évolué et permis un pas important dans l'analyse du mouvement en convertissant des données de position en propriétés qui décrivent le mouvement corporel d'une manière qui est proche du mouvement réel. On observe qu'un nombre conséquent de recherches étudie les mouvements de motricité fine de l'auditeur. Les membres supérieurs présenteraient des caractéristiques motrices permettant à l'auditeur de rendre plus précisément compte des propriétés musicales. On note une progression dans la catégorisation des propriétés musicales et des mouvements d'accompagnement du son sans doute liée aux progrès de captation du mouvement. Sur le plan sonore, le matériau musical présenté aux auditeurs est le plus souvent écologique. La combinaison des paramètres reste problématique pour l'analyse du lien de cause à effet entre propriétés musicales et propriétés de mouvement. Par ailleurs, on recueille peu d'informations sur la méthode d'analyse et les outils de mise en correspondance des propriétés sonores et corporelles. L'ensemble des résultats issus des recherches empiriques sur les rapports entre musique et motricité contribue à établir une carte des correspondances entre des caractéristiques musicales rythmiques et des caractéristiques de mouvements corporels de grande motricité et de motricité fine :

Propriétés musicales rythmiques	Propriétés des mouvements de grande motricité	Propriétés des mouvements des bras et mains et graphiques
Durée Densité des attaques	Durée Activité générale : densité des gestes	
Intervalles IOI¹⁷³ et motif rythmique Accélération (IOI décroissant) Décélération (IOI croissant)	Vitesse Images de descente Descente et éloignement	Accélération, amplitude++ Ralentissement, amplitude---
Intervalle entre deux sons longs Intervalle entre deux sons courts		Mouvements lisses et arrondis Mvt droits et anguleux
Mesure	Mesure	
Mètre, pulsation	Mètre, pulsation	

¹⁷³ Inter-Onset Interval = intervalle de temps entre deux attaques.

Propriétés musicales rythmiques	Propriétés des mouvements de grande motricité	Propriétés des mouvements des bras et mains et graphiques
Silence	Arrêt	
Intensité	Dynamisme musculaire	Force, Pression/ taille, amplitude
<i>Forte/piano</i>	Amplitude et Vitesse	Amplitude et vitesse
Dynamiques	Ample/étroit Tendu/Relâché Lourd/léger	Forte pression et grande amplitude /faible pression et petite amplitude
<i>Crescendo</i>	Distance Energie Verticalité Vitesse	Augmentation
<i>Diminuendo</i>	- Approche et Accélération De la marche à la course Pas d'élévation	Diminution
Accents Sons accentués/non accentués	Tension/Relâchement Léger/lourd	
Articulation <i>Staccato</i> <i>Tenuto</i> Transition <i>staccato-tenuto</i> avec changement d'intensité concomitante	Distance Eloignement Rapprochement Eloignement	Amplitude et vitesse
<i>Legato/staccato</i>	Souple/rigide Continu/saccadé	
Tempi <i>Lento/allegro</i>	Cinétique Niveau d'énergie Mouvements Lent/rapide	Discontinu/continu
<i>Allegro</i>		Continu, vitesse +
Ritardando	Ralentissement+ éloignement	
<i>Lento + diminuendo</i> <i>Lento + Rallentando</i>		Déplacement vers le bas Pas de déplacement vers le bas
Rythme régulier/irrégulier	Rythme régulier/irrégulier	
Sons à hauteur indéterminée	Accélération du mouvement	
Cadences, répétitions	Changement de direction	
Structure (motif, phrase, structure)	Structure (motif, phrase, structure)	
Construction (forme)	Distribution des mouvements dans l'espace et la durée	


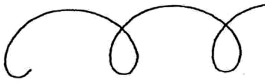

Propriétés musicales rythmiques	Propriétés des mouvements de grande motricité	Propriétés des mouvements des bras et mains et graphiques
Mouvement musical <i>Vitesse et tension relative</i> Ex : ralentissement et tension Rapidité et détente		Courbure de la trajectoire du mouvement Boucle serrée Mouvements rectilignes
Dynamique : accroissement modéré Agogique : calme-accélère-décélère Vitesse : plus rapide		
Dynamique : plus fort Agogique : avance énergiquement Vitesse : moins rapide		
Dynamique : encore plus fort Agogique : énergie encore plus grande Mouvement plus large Vitesse : plus lente		

Tableau 18: Liens entre propriétés musicales rythmiques et propriétés corporelles et graphiques

2.3 Couplage rythme-mouvement corporel

On considère ici les liens entre rythme et motricité dans le cadre théorique de l'enaction, sachant que

« Le couplage audio-moteur est au cœur de la perception du rythme. »¹⁷⁴.

Deux cas de figure sont envisagés dans l'étude de la boucle perception-action et du couplage rythme-mouvements corporels de l'auditeur :

perception → action : le rythme est la cause du mouvement.

action → perception : le mouvement de l'auditeur a des effets sur sa perception du rythme.

¹⁷⁴ PETIT, Christine, « Perception du rythme et de la métrique », Cours « Perception de la musique », Collège de France, Paris, 10 mars 2016.

2.3.1 Le rythme, cause de mouvements

Dans le cas d'une relation de causalité entre rythme et mouvement, le rythme est considéré comme une source ou une motivation pour le mouvement corporel. L'expérience d'écoute musicale implique des interactions hautement complexes de processus cognitifs, affectifs et corporels prenant place dans un contexte personnel, social, culturel. Les réponses très variées que la musique engendre sont entretenues dans la fabrication de pensées, de sentiments et le contexte social et sont hautement idiosyncrasiques. Les réponses corporelles à la musique sont parmi les expériences essentielles de la musique. De nombreuses recherches scientifiques étudient les effets de l'audition de la musique sur les réponses corporelles de l'auditeur à la musique. Certaines études sont consacrées à l'observation des modifications physiologiques et physiques et à la constitution d'un répertoire de divers types de réponses motrices. Par ailleurs, les effets de propriétés rythmiques sur la motricité sont étudiés suivant deux phénomènes engendrés par l'écoute musicale : l'induction motrice et la synchronisation du mouvement avec le son.

2.3.1.1 Réponses corporelles physiologiques et physiques à la musique

Bien qu'apparaissant dans un mode holistique, on distingue deux types de réponses corporelles à la musique¹⁷⁵, les réponses physiologiques et les réponses motrices. Elles font l'objet d'études scientifiques car le mouvement est plus facilement mesuré avec des enregistrements vidéo et des capteurs kinétiques et physiologiques alors que l'intention dans l'esprit des auditeurs reste souvent vague et sujette à interprétation. Concernant les réponses physiologiques, il n'y a pas suffisamment de recherches pour déterminer si l'écoute musicale les affecte. Cependant, parmi les nombreux effets de l'écoute musicale¹⁷⁶, la majorité des études montre que des patterns musicaux de tension-détente auraient des effets sur la tension musculaire mesurée par électromyographie¹⁷⁷. La musique calme fait décroître l'attention plus rapidement que la musique stimulante ne l'accroît¹⁷⁸. L'écoute de certaines musiques a le

¹⁷⁵ HODGES, Donald A., "Bodily responses to music", *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford University Press, 2009, p. 121-129.

¹⁷⁶ Sur le rythme cardiaque, la conductivité de la peau, la pression artérielle, les réponses biochimiques, la respiration, les doigts, la peau, la température du corps, le volume sanguin, la motricité gastrique.

¹⁷⁷ BLOOD, Anne J. and ZATORRE Robert J., "Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion", *Proceedings of the National Academy of sciences of the United State of America*, 98, 2001, p. 11818-11823 ; RICKARD Nikki S., "Intense emotional responses to music : a taste of the physiological arousal hypothesis", *Psychology of Music*, 32(4), 2004, p. 371-388.

¹⁷⁸ SEARS, William W., "The effect of music on muscle tonus", *Music therapy*, ed. E. Gaston, Kansas, Allen Press, 1958, p. 199-205.

potentiel d'accroître la stabilité posturale¹⁷⁹. Les réponses physiques, externes, sont plus aisément observables. Elles apparaissent naturellement, sans entraînement spécifique. Le corps répond à l'écoute de la musique avec des gestes largement involontaires, des mouvements moteurs réflexes comme taper du pied ou bouger la tête¹⁸⁰. Les auditeurs réalisent également des mouvements coordonnés qui vont de taper du pied à effectuer des mouvements de danse élaborés. Le système auditif interagit directement avec deux sous-systèmes du système moteur¹⁸¹, l'un responsable des phénomènes périodiques relativement rapides – frapper du pied – et l'autre associé avec des mouvements périodiques plus lents et moins précis – balancement du corps et mouvements du corps entier¹⁸². Ces interactions sont responsables de notre réponse motrice forte à la musique. Une typologie des diverses réponses motrices à l'écoute de la musique peut être établie¹⁸³ selon que les activités générées sont manifestes ou non.

Activités motrices manifestes

On distingue des mouvements et des postures non musicales, développés par des groupes¹⁸⁴ que la musique représente. D'autres mouvements, dits para-musicaux, sont les activités cinétiques posturales qui résultent d'une imitation ou d'une synchronisation avec tout élément donné dans la musique. On distingue une synchronisation générale de base. Ce niveau est le plus physique et représente un lien direct entre propriétés du son et activité corporelle. Une partie du corps s'appuie sur un aspect métrique de la musique – battement ou accent ; une activité cinétique posturale liée à des genres musicaux particuliers¹⁸⁵ ; un mimétisme exécutant, avec l'imitation du jeu des instruments de musique et d'autres actions produisant les sons aussi bien que toute activité cinétique associée. D'autres activités de ritualisation sont des routines motrices qui ont des règles spécifiques et sont insérées dans des activités plus complexes, musiques et mouvements ne représentant qu'une partie de la

¹⁷⁹ CARRICK Frederick R. *et al.*, "Posturographic changes associated with music listening", *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 13(5), 2007, p. 519-526.

¹⁸⁰ Les réponses physiques qui requièrent un entraînement, par exemple taper du pied sur une nouvelle musique, ne sont pas étudiées ici.

¹⁸¹ TODD, Neil, P. McAngus, "The Kinematics of Musical Expression", *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(3), 1995, p. 1940-1950.

¹⁸² Les deux sous-systèmes incarnent la distinction entre des danses dans lesquelles le centre du danseur demeure essentiellement fixe tandis que les mouvements des membres sont périodiques et assez rapides -danse disco, et celles dans lesquelles le centre du corps lui-même bouge alors que les membres ont des mouvements plus limités.

¹⁸³ LOPEZ CANO, Ruben, "What kind of affordances are musical affordances ? A semiotic approach", *Terzo Simposio Internazionale sulle Scienze del Linguaggio Musicale*, Bologna, 2006, p. 1-12.

¹⁸⁴ Par exemple les gesticulations des rappeurs avec insinuations sensuelles et sexuelles.

¹⁸⁵ La construction sociale et culturelle est ici très présente. Les *hard rockers* préfèrent des mouvements de tête verticaux et vigoureux. La *pop music* s'accompagne de mouvements fluides d'un côté et de l'autre du corps. La musique classique du nord de l'Inde est souvent accompagnée de secousses soudaines de la tête - de type négation, chez les musiciens et dans l'auditoire.

performance entière. C'est le cas de mouvements strictement coordonnés qui sont utilisés durant certains rituels¹⁸⁶. Enfin, la danse, activité symbolique complexe, interagit intersémiotiquement avec la musique.

M. Leman analyse l'implication des auditeurs dans la musique¹⁸⁷ avec notamment leurs descriptions corporelles. Il distingue trois degrés d'engagement corporel. A un premier degré, le corps de l'auditeur se synchronise avec les propriétés structurales de la musique. La synchronisation peut être interprétée comme une synthèse corporelle des patterns sonores perçus qui permet à l'auditeur de sentir et de comprendre corporellement un élément structurant de base de la musique. A un deuxième degré, le corps de l'auditeur s'accorde avec la musique, ce qui implique le système moteur mais pas nécessairement le système émotionnel. L'activité motrice nécessite le contrôle, la prédiction à court terme et un engagement dirigé vers un but¹⁸⁸. Le corps de l'auditeur est aligné avec les formes sonores de la musique. Cette projection du mouvement humain sur la musique est facilitée quand la cause de ce mouvement est un être humain¹⁸⁹. Les mouvements des auditeurs sont différents de ceux du musicien mais ils ont en commun le système moteur qui encode et décode les formes sonores en mouvement. A un troisième degré d'implication, l'auditeur fait preuve d'une empathie émotionnelle qui implique les deux systèmes, moteur et émotionnel¹⁹⁰ :

« Cette vision incarnée de l'empathie avec la musique est en accord avec d'autres résultats de la recherche sur l'émotion, suggérant que le système moteur peut accéder au système émotionnel à différents degrés d'engagement. »¹⁹¹

Selon l'auteur, cet essai de distinction des degrés d'engagement corporel de l'auditeur nécessite de plus amples recherches en vue de préciser la manière dont ils sont reliés, l'hypothèse étant que ces manifestations corporelles sont reliées à différents niveaux du système sensori-moteur et des couplages action-perception ainsi qu'à divers niveaux de traitement de l'émotion.

Activité motrice dissimulée

La musique permet d'exercer des activités corporelles non visibles, favorisant le développement d'activités cognitives étroitement liées aux activités motrices. R. I. Godøy,

¹⁸⁶ Comme les marches militaires, des entrées royales, les processions de mariage, *etc.*, et des jeux d'enfants accompagnés par des mouvements.

¹⁸⁷ LEMAN, Marc, *op. cit.*, 2008, p. 127-128.

¹⁸⁸ L'auditeur peut exprimer l'intentionnalité perçue qui peut être mesurée et étudiée.

¹⁸⁹ JUSLIN, Patrik N. *et al.*, "Toward a computational model of expression in performance : the GERM model", *Musicae Scientiae*, (5), 2002, p. 63-122.

¹⁹⁰ De récentes études suggèrent que l'empathie est liée à l'identification émotionnelle et au sentiment d'intimité ou de connexions sociales (Berthoz & Jorland, 2004). Selon des résultats de scanners cérébraux, le système moteur paraît accéder au système émotionnel à divers degrés, selon que l'affect est observé, imité ou senti.

¹⁹¹ De BRUYN, Leen, MOELANTS, Dirk, LEMAN, Marc, "An embodied Approach to Testing Musical Empathy in Participants With an Autism Spectrum Disorder", *Music and Medicine*, 4(1), p. 29.

M. Reybrouck et A. Cox affirment¹⁹² que durant l'écoute musicale, on expérimente des réactions motrices et kinétiques virtuelles qui sont étroitement liées à de réelles activités motrices. Ils introduisent les termes d'imagerie motrice et de simulation motrice ou idéomotrice. Ces états mentaux dynamiques dans lesquels on s'imagine en mouvement ou l'on se sent soi-même exécuter un mouvement qu'on n'effectuera pas réellement apparaissent pendant la préparation et la programmation des actions. Les processus cognitifs de hauts et de bas niveaux qui interviennent dans la simulation motrice sont pratiquement les mêmes que ceux qui sont développés dans des situations de mouvement réel. Des contrôleurs sensoriels moteurs connectent les capteurs du système nerveux central avec les muscles effecteurs, les processus s'arrêtant juste avant d'activer les muscles effecteurs. Quatre cas de simulation et d'imagination motrice sont répertoriés. Les simulations idéomotrices de mouvements réels de production de sons ; les simulations idéomotrices de mouvements imaginaires de production de sons¹⁹³ ; l'extension corporelle, une sorte de prothèse expansive des possibilités motrices de notre propre corps. La musique permet parfois d'expérimenter des sensations de mouvements corporels¹⁹⁴ qu'on n'exécuterait pas en réalité mais que l'on projette dans le son ; la somatisation cinétique ou l'empathie motrice. La sensation de mouvements causée par la musique est expérimentée dans notre propre corps.

2.3.1.2 Effets de propriétés musicales rythmiques sur la motricité

Chez les danseurs ou les marcheurs, la musique a deux types d'effets moteurs sans doute étroitement solidaires. D'une part, elle a un effet dynamogénique général et augmente l'endurance¹⁹⁵. D'autre part, elle détermine une tendance au mouvement qui permet la synchronisation de l'activité motrice. On va donc considérer le rythme comme un phénomène subi par le sujet, avec le cas de l'induction motrice qui est une réaction spontanée, hors de la conscience, puis comme phénomène agi, avec les cas de la synchronisation – action par anticipation – et de la motricité libre. Dans les deux cas, on cherche à préciser comment et

¹⁹² GODØY, Rolf Inge, "Motor-Mimetic Music Cognition", *Leonardo* 36, 4, 2003, p. 317-319. REYBROUCK, Mark, "Musical Imagery between Sensory Processing and Ideomotor Simulation", *Musical Imagery*, ed. Rolf I. Godøy and Harald Jørgensen, Swets and Zeitlinger, 2001, p. 117-136. REYBROUCK, Mark, "Body, Mind and Music, Musical semantics between experiential cognition and cognitive economy", *Trans*, 9, 2005. COX, Arnie, "Verticality, Conceptual Blending, and the Mimetic Hypothesis", *Society for Music Theory*, Atlanta, 1999. COX, Arnie, "The Mimetic Hypothesis and Embodied Musical Listening", *Musicae Scientiae*, 5(2), 2001, p. 195-209.

¹⁹³ Lors de l'écoute de musiques acousmatiques ou électroacoustiques dont les sons sont produits électroniquement et non par une action physique, l'on a tendance à imaginer la source sonore en question. Bien que n'ayant aucun référent réel, notre imagination active également des éléments corporels.

¹⁹⁴ Accélération, rétention, précipitation, statisme, ascension et fragments descendants, etc.

¹⁹⁵ La musique tend à réduire ou à retarder la fatigue, par conséquent, elle accroît l'endurance musculaire. DISERENS, Charles M., "Reactions to musical stimuli", *Psychological Bulletin*, 20(4), 1923, p. 173-199.

dans quelle mesure les propriétés rythmiques – structure, périodicité et *mouvement* – influent sur la motricité. On gardera à l'esprit la distinction entre la perception des structures musicales et l'adaptation motrice à ces structures perçues. En effet, si l'organisation motrice des mouvements dépend nécessairement de la perception de la musique, celle-ci ne détermine pas nécessairement l'activité motrice induite : la persistance de réactions motrices élémentaires et même certains échecs d'adaptation motrice peuvent tout de même aller de pair avec une perception très différenciée des structures musicales les plus complexes.

- **Induction motrice ou effets dynamogéniques du rythme**

Selon E. Goblot, la musique a le pouvoir de donner l'idée des formes visibles uniquement par l'induction motrice :

« Un dessin mélodique donne l'idée d'un mouvement parce qu'il nous incite nous-mêmes à nous mouvoir. »¹⁹⁶

Le mouvement figuré est supposé être le produit conscient d'une résonance musculaire mise en jeu par l'action directe du stimulus sur le système neuromusculaire. L'induction motrice agit par les effets dynamogènes de la musique sur l'auditeur. Etymologiquement, selon M. Jousse, dynamogénie signifie

« [...] *création* ou *acquisition de force*. Nous prenons ce mot dans le sens de *dégagement* ou *d'occasion de dégagement de force dans l'individu*. Donc, ne pas confondre la dynamogénie avec *l'augmentation* de la provision d'énergie qui résulte, par exemple, de la nutrition. La dynamogénie – dégagement d'énergie – est un *accroissement momentané*, mais en fin de compte une *consommation* d'énergie. »¹⁹⁷

Malgré leur intérêt scientifique, on recense peu de recherches expérimentales centrées sur l'induction motrice, ce déclenchement moteur automatique, involontaire à l'audition de musique, et sur les effets dynamogènes de la musique¹⁹⁸. Ces phénomènes manquent d'explications mais sont bien connus sur le plan descriptif. On observe que la diffusion des

¹⁹⁶ GOBLOT, Edmond, La musique descriptive, *Revue philosophique*, 1901, p. 125, in FRANCES, Robert, *op. cit.*, p. 268.

¹⁹⁷ JOUSSE, Marcel, « Le style oral rythmique et mnémotechnique chez les Verbo-moteurs. L'explosion énergétique et la psychophysiologie du geste », *Revue Archives de philosophie*, Volume II, Cahier IV, 1925, p. 27.

¹⁹⁸ On ne recense que trois études expérimentales sur l'effet dynamogénique de la musique : FRAISSE, Paul, OLÉRON, Geneviève et PAILLARD, Jacques, « Les effets dynamogéniques de la musique. Etude expérimentale », *L'Année psychologique*, (fasc.1), 1953, p. 1-34. OLÉRON, Geneviève, « Influence de la répétition sur la structuration temporelle des mouvements d'accompagnement de la musique », *L'Année psychologique*, Volume 56, 1956, p. 13-26. *Idem*, « Les mouvements rythmés induits par la musique », *L'Année psychologique*, Volume 57, 1957, p. 33-50. Dans ces recherches, les auteurs étudient systématiquement l'effet dynamogénique de la musique au moyen d'une détection électromyographique simultanée de l'activité musculaire globale des extenseurs des mains et des pieds ou au moyen d'un doigtier ou encore à l'aide d'une clef pneumatique. Le tracé électromyographique met en évidence la localisation de l'activité, les caractéristiques de durée (latence d'apparition de l'activité, durée totale de l'activité), d'intensité (ampleur des manifestations motrices) et de structure.

effets moteurs de la musique dans les différents membres est d'autant plus importante que le morceau a un effet dynamogénique plus grand et que l'activité est moins dirigée. Les effets de la musique se localisent surtout dans les membres¹⁹⁹ qui reposent sur une surface en appui léger. La nature de la musique a des effets différentiels sur le mouvement et notamment sur la pression du mouvement dont la force est augmentée ou diminuée selon les pièces musicales²⁰⁰. Des facteurs musicaux semblent agir de manière prépondérante sur la dynamogénie.

- Intensité et accent

Les sensations auditives ont un effet dynamogénique mesurable par la force déployée au dynamomètre²⁰¹. Cet effet, difficile à systématiser, est en relation avec l'intensité et la hauteur des sons. L'aspect dynamique de la musique est lié à son caractère intensif²⁰². En effet, l'incitation au mouvement est toujours liée à la présence d'éléments plus intenses que d'autres. D'une manière générale, la force d'une réponse motrice apparaît en relation avec le niveau d'intensité du stimulus : si l'on diminue progressivement l'intensité du morceau de musique, l'amplitude des tracés diminue progressivement, correspondant à une diminution de l'amplitude du mouvement de frappe²⁰³. Pour les sujets chez qui n'apparaît aucun effet dynamogénique, le passage musical plus intense déclenche des réactions motrices. Chez ceux qui ont déjà des réactions, le *crescendo* entraîne une augmentation de l'amplitude des réactions et fréquemment une diffusion temporaire de l'activité à d'autres membres jusqu'alors inactifs²⁰⁴. On note enfin que, lorsque l'accent a pour rôle de déclencher une activité motrice, il peut être variable en intensité sans que son rôle soit perturbé. En revanche, il doit revenir à des instants précis²⁰⁵.

- Rythme et mètre

Sur le plan affectif, la forme de satisfaction à base d'incitation motrice est surtout liée au caractère rythmique de la musique²⁰⁶. Les effets dynamogéniques de la musique et du rythme sont manifestes et irrésistibles²⁰⁷. Chez les jeunes enfants, cette incitation rythmique

¹⁹⁹ Lorsque les quatre membres sont dans la même situation au point de vue postural, il y a prépondérance de l'activité des mains sur celle des pieds et prépondérance relative du pied droit sur le pied gauche.

²⁰⁰ SCRIPTURE, E. W., *Thinking, feeling and doing, An introduction to mental science*, New York, Putnam's sons, 1907.

²⁰¹ Féré (1904) a employé l'ergographe de Mosso et montre que les sensations auditives augmentent la quantité de travail. FRAISSE, Paul, OLÉRON, Geneviève et PAILLARD, Jacques, *op. cit.*, p. 2.

²⁰² SEASHORE, Carl Emil, *Psychology of Music*, New York, McGraw-Hill Book Company, 1938.

²⁰³ FRAISSE, Paul, *Les structures rythmiques, étude psychologique*, Louvain, Erasme, 1956, p. 21.

²⁰⁴ FRAISSE, Paul, OLÉRON, Geneviève et PAILLARD, Jacques, *op. cit.*, 1953 ; OLÉRON, Geneviève, *op. cit.*, 1956. *Idem, op. cit.*, 1957.

²⁰⁵ *Ibidem*.

²⁰⁶ GATEWOOD, Esther L., "An experimental study of the nature of musical enjoyment", *The effects of music*, ed. Max Schoen, New York, Harcourt Brace, 1927, p. 78-120.

²⁰⁷ BOLTON, Thaddeus L., "Rhythm", *American Journal of Psychology*, 6, 1894, p. 145-238.

est évidente lors de l'écoute de morceaux de musique tels que danses et marches²⁰⁸. Les très jeunes enfants produisent des réponses motrices rythmées en accord avec les accents métriques²⁰⁹. On constate qu'un effet dynamogénique d'un morceau de musique est d'autant plus grand que le rythme musical s'inscrit plus étroitement dans le rythme métrique. Cet effet décroît à mesure que le rythme musical prend plus d'indépendance. Un rythme sans retour périodique ne détermine ni mouvement intense, ni mouvement à structure périodique. Un morceau de valse a tendance à déterminer des mouvements complexes de balancements ou des successions de trois pas différenciés par leur localisation ou leur intensité. Les rythmes à deux temps²¹⁰ donnent des effets plus intenses et plus structurés que ceux à trois temps²¹¹.

Ces données nécessitent des compléments de recherches en vue d'affiner l'effet des propriétés du rythme sur les mouvements de l'auditeur. Sur un plan méthodologique, ces études pionnières posent notamment le problème du choix du matériau musical²¹². Les difficultés d'analyse résultent de la complexité du matériau musical écologique qui combine d'innombrables éléments peu dissociables. Divers facteurs agissent simultanément et l'attribution des causes de mouvement ne peut revenir à l'un d'eux en particulier.

- **Synchronisation sensori-motrice avec le rythme musical**

La recherche sur la synchronisation sensori-motrice (ssm) est un champ relativement restreint et circonscrit²¹³, relié de près avec la recherche sur les relations perception-action, le comportement rythmique, la coordination bi-manuelle et la performance musicale. De nombreuses activités comme danser, marcher, travailler en musique montrent une synchronisation entre l'entrée auditive et la sortie motrice et un entraînement moteur provoqué par les rythmes qui apporte du plaisir. La coordination rythmique est un comportement humain universel qui est fondamental pour la musique et la danse. Un des universaux de la perception humaine de la musique est la tendance à se mouvoir en synchronie avec un

²⁰⁸ FRAISSE, Paul, PICHOT, Pierre et CLAIROUIN-OLÉRON, Geneviève, « Les aptitudes rythmiques. Etude comparée des oligophrènes et des enfants normaux », *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, n° 42, Paris, Presses Universitaires de France, 1949.

²⁰⁹ CHRISTIANSON, Helen M., *Bodily Rhythmic Movements of Young Children in relation to Rhythm in Music*, Columbia University Teachers College, New York, 1938.

²¹⁰ Ou multiples de deux temps.

²¹¹ FRAISSE, Paul, OLÉRON, Geneviève et PAILLARD, Jacques, *op. cit.*, 1953 ; OLÉRON, Geneviève, *op. cit.*, 1956. *Idem*, *op. cit.*, 1957.

²¹² Deux types d'extraits musicaux d'une minute environ : rythmés, pour orchestres : Marche, Mazurka, Valse, Danses norvégiennes ; peu rythmés et pour violon accompagné au piano : air, Habanera. FRAISSE, Paul, OLÉRON, Geneviève et PAILLARD, Jacques, *op. cit.*, p. 7. Démarche identique pour G. Oléron, avec cinq extraits musicaux : Marche militaire, swing, Valse de J. Strauss, et air populaire tzigane, *Salomé* de R. Strauss, OLÉRON, Geneviève, *op. cit.*, 1956, p. 15. Valse berceuse de J. Brahms et danse populaire roumaine de B. Bartok, présentées au violon seul, piano seul puis violon accompagné au piano. OLÉRON, Geneviève, *op. cit.*, 1957, p. 34-36.

²¹³ REPP, Bruno H., « Sensorimotor synchronization : a review of the tapping literature », *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 2005, p. 969-992.

battement périodique. Cette réponse est rarement observée chez les animaux²¹⁴. La capacité à s'engager dans une synchronisation sensori-motrice dans une large gamme de tempi semble être spécifique à l'homme et pourrait avoir joué un rôle important dans l'évolution de la musique et même du langage²¹⁵. Selon B. H. Repp,

« La synchronisation sensori-motrice est une forme de comportement référentiel (Pressing, 1999) dans lequel une action est temporellement coordonnée avec un événement externe prédictible, le référent. Habituellement, le terme ssm réfère à une situation dans laquelle l'action et le référent sont périodiques, de sorte que la prédictibilité du référent découle de sa récurrence régulière. »²¹⁶

La synchronisation peut être conçue comme un type d'articulations corporelles qui adhère de près à des mécanismes sensorimoteurs de bas niveau. Elle est possible sans dépenser trop d'attention au stimulus physique. Les réponses motrices sont induites par les stimuli rythmiques et se synchronisent avec eux.

« Le plan des synchronisations sensori-motrices se caractérise par une forme d'adaptation qui répond à la présence de phénomènes rythmiques exogènes. »²¹⁷

La ssm implique la coordination temporelle d'un rythme moteur avec un rythme externe. Cette coordination est fondamentale dans les activités musicales²¹⁸ où l'audition et la réponse motrice sont couplées. Elle est importante pour l'auditeur car il est capable d'entendre la musique « dans le temps » de son déroulement. L'écoute musicale génère des attentes temporelles – une sorte de synchronisation interne – qui permet de bouger en synchronie avec le battement musical. La ssm est une activité intentionnelle – la personne doit avoir l'intention de se mouvoir²¹⁹ et l'intention de coordonner ses mouvements avec un référent externe²²⁰ – et manifeste, par définition, puisqu'elle implique le mouvement.

Comment l'homme synchronise-t-il ses mouvements sur un stimulus ? Comment s'effectue la mise en phase de la musique et du mouvement ? Les deux principales approches théoriques de la synchronisation sensori-motrice sont la théorie de traitement de l'information

²¹⁴ Un cacatoès peut se synchroniser à un battement musical mais avec une fiabilité limitée et une flexibilité de tempo. PATEL, Aniruddh D. *et al.*, "Investigating the human-specificity of synchronization to music", *Proceedings of the 10th International Conference On Music Perception and Cognition*, ed. M. Adachi *et al.*, Sapporo, August 2008, p. 1-5.

²¹⁵ MERKER, Björn H., "Synchronus chorusing and human origins", *The origins of music*, ed. Nils I. Wallin, Björn Merker and Steven Brown, Cambridge, MIT, 2000, p. 315-327.

²¹⁶ REPP, Bruno H., *op. cit.*, p. 969.

²¹⁷ HIRIARTBORDE, Edmond, *Les aptitudes rythmiques Etude de psychologie différentielle*, Paris, Dactylo-Sorbonne, 1964, p. 36.

²¹⁸ Avec le phénomène d'entraînement, synchronisation consciente ou inconsciente et interactions entre coparticipants dans la performance.

²¹⁹ Bien que le mouvement synchronisé avec un battement rythmique puisse apparaître non intentionnellement, il peut être facilement supprimé quand on y porte attention.

²²⁰ Il est parfaitement possible de taper à un tempo pendant qu'on écoute une séquence de battements à un tempo différent (Repp, 2006) ou de marcher en décalage avec la musique, in REPP, Bruno H., "Rate Limits of Sensorimotor synchronization", *Advances in Cognitive Psychology*, 2, 2006, p. 163-181.

et la théorie des systèmes dynamiques. La première s'occupe généralement de réponses représentées comme des séries discrètes de temps ; la seconde est principalement concernée par le mouvement continu, représenté comme une trajectoire dans l'espace de phases. Ces deux théories ne sont pas fondamentalement incompatibles et pourraient bien fusionner²²¹. La ssm est contrôlée de manière conjointe par deux processus de correction d'erreur, la correction de phase et la correction de période qui diffèrent dans leur degré de contrôle cognitif et peuvent être associées à différents circuits du cerveau. Ces deux processus exemplifient la distinction entre mécanismes subconscients de régulation d'action et processus conscients impliqués dans le jugement perceptif et la planification de l'action. Sur le plan neurologique, la ssm requiert une participation complexe des centres nerveux supérieurs. Les techniques d'IRM mettent en évidence le lien fondamental entre la perception des événements sonores saillants – hauteurs, rythmes ou timbres – et la motricité. Elles permettent d'observer les modifications des représentations motrices liées à la performance musicale et montrent que les cartes corticales auditives et motrices sont également associées durant l'écoute passive de l'auditeur²²².

L'étude des mécanismes neuronaux des réponses motrices synchronisées à un rythme auditif contribue à comprendre comment la formation du rythme est contrôlée par le cerveau²²³. On constate que les impulsions neurales de rythme auditif sont projetées directement dans les structures motrices et que le système moteur a accès à l'information temporelle dans le système auditif au-dessous des niveaux de perception consciente. Un réseau cortical et subcortical largement distribué favorise des aspects moteurs, sensoriels et cognitifs de traitement du rythme²²⁴ : le cervelet a un rôle central dans l'organisation temporelle de processus cognitifs et perceptif de la musique²²⁵ ; le réseau neural basique qui sous tend la synchronisation d'impulsions isochrones consiste principalement en aires composites motrices et auditives. Aucune aire du cerveau n'est donc clairement désignée, n'est fonctionnellement séparée pour la synchronisation. Elle est réalisée par des couplages

²²¹ REPP, Bruno H., *op. cit.*, 2005.

²²² Marta OLIVETTI-BELLARDINELLI in IMBERTY, Michel et GRATIER, Maya (dir.), *Temps, geste et musicalité*, Paris, L'Harmattan, 2007, p. 28.

²²³ THAUT, Michael H., "Rhythm, human temporality, and brain function", *Musical communication*, ed. Dorothy Miell, Raymond Macdonald and David J. Hargreaves, Oxford University Press, 2005, p. 171-191.

²²⁴ PLATEL, Hervé *et al.*, "The structural components of music perception. A functional anatomical study", *Brain A Journal of Neurology*, 120, 1997, p. 299-343. PENHUNE, Virginia B. *et al.*, "Cerebellar contributions to motor timing : a PET study of auditory and visual rhythm reproduction", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 1998, p. 752-765. SCHLAUG Gottfried, "The brain of musicians a model for functional and structural adaptation", *Annals of the New York Academy of Science*, 930, 2001, p. 281-299.

²²⁵ SCHMAHMANN, Jeremy D., "The Cerebellum and Cognition", Academic Press, New York, 1997. Cependant, la pathologie du cervelet n'affecte pas la capacité des rythmes auditifs à entraîner des réponses motrices ce qui suggère que les rythmes sensoriels peuvent compenser des mécanismes dysfonctionnant du cerveau lié au timing. MOLINARI M. *et al.*, "Motor entrainment to auditory rhythm is not affected by cerebellar pathology", *Proceedings for the Society of Neuroscience*, 950, 2001, p. 2.

stables et constants entre signal rythmique et réponse motrice rythmique qui sont effectués presque instantanément, en moins d'une ou deux répétitions de l'intervalle du stimulus rythmique. A des changements fortuits de tempo des sons de métronome correspondent des changements non linéaires dans les mécanismes de réponse employés pour conserver la synchronisation entre la réponse motrice rythmique, le doigt tapé, et la pulsation. Dans de petits changements, selon le niveau de conscience perceptive de durée, les erreurs de période²²⁶ sont corrigées en premier puis les erreurs de synchronisation²²⁷ sont ajustées graduellement. Le rythme auditif communique au cerveau des modèles temporels basés sur des intervalles stables et précis auxquels le système moteur a un accès privilégié, même à un bas niveau de conscience.

Perception du battement et synchronisation

On trouve dans chaque culture une forme de musique avec un battement régulier, une pulsation périodique qui offre une coordination temporelle entre musiciens et suscite des réponses motrices synchronisées entre ceux qui écoutent²²⁸. L'usage d'une pulsation perceptivement isochrone en musique engage l'attente temporelle périodique qui joue un rôle fondamental dans la perception de la musique. Les humains sont capables d'extraire la périodicité de stimuli auditifs complexes et peuvent focaliser leurs attentes sur les périodicités à différents niveaux hiérarchiques. Ces attentes périodiques sont la base de synchronisations motrices de l'auditeur sur la pulsation : il frappe ou bouge légèrement en avance sur le battement réel. La synchronisation est donc fondée sur une anticipation temporelle structurée. Le retour périodique a des conséquences importantes qui transforment la simple perception du rythme en une expérience très complexe avec une forte tonalité affective. La périodicité de l'activité motrice apparaît fondamentale pour permettre une synchronisation de l'activité motrice avec le stimulus qui ne peut se réaliser que s'il y a anticipation par le sujet du moment où se produit la stimulation. Ce mouvement répétitif est une source de satisfaction : il procure une excitation facilement entretenue qui est augmentée par l'harmonie réalisée entre le perceptif et le moteur. A cette synchronisation perceptivo-motrice correspond une participation complexe des centres nerveux supérieurs. Ce qui est perceptif est d'abord d'ordre cortical mais le kinesthésique excite particulièrement le diencephale, *i.e.* notre cerveau affectif. Les effets corticaux et diencephaliques se renforcent d'ailleurs mutuellement.

²²⁶ Différence de temps entre intervalle de métronome et intervalle de frappe.

²²⁷ Différence de temps entre frappe et attaque du son.

²²⁸ NETTL, Bruno, "An Ethnomusicologist contemplates Universals in Musical Sound and Musical Culture", *The origins of music*, ed. Nils I. Wallin, Björn Merker and Steven Brown, Cambridge, MIT, 2000, p. 464-472.

On constate que la synchronisation de mouvements avec des rythmes purement visuels est rare tandis que la synchronisation avec des rythmes auditifs est plus fréquente²²⁹. Il y aurait donc un effet particulier de l'énergie sonore sur le système moteur humain. L'effet est clairement observable dans la tendance à frapper sur la pulsation de la musique. Le battement est la caractéristique la plus naturelle pour le mouvement synchronisé parce que cela fait appel à des résonances biomécaniques fondamentales²³⁰. La perception du battement et la synchronisation sont un aspect du rythme qui semble propre à la musique²³¹. Les recherches avec IRM sur la perception chez l'homme indiquent que les rythmes qui ont un battement régulier sont associés à un accroissement de l'activité dans le ganglion basal²³². Cette structure profonde du cerveau est connue pour être une part essentielle du circuit de distribution impliquée dans la synchronisation d'intervalles qui sont dans l'estimation d'intervalles temporels pertinents pour la perception du battement musical²³³. Les ganglions de la base sont aussi impliqués dans le contrôle moteur et la séquentialisation, ce qui signifie que la structure cérébrale impliquée dans la perception de la conservation du battement est également impliquée dans la coordination de patterns de mouvements²³⁴.

De récentes études soulignent que frapper le battement est lié à une faculté sensorimotrice plus générale dans le cerveau humain. Cette activité correspond à l'hypothèse du résonateur qui force la perception du battement à être structurée par une période de 2 Hz qui équivaut à 120 bpm environ²³⁵. Ce modèle prédit que les sujets tendent à taper le battement en accord avec la gamme optimale de la fréquence du résonateur. C'est pourquoi, dans le but de mieux adapter la fréquence du résonateur, la pulsation d'une musique lente peut être tapée deux fois plus vite que le pattern d'induction du battement dans le stimulus physique. Pour la même raison, le battement musical rapide peut être tapé deux fois plus lentement. Taper le battement a également un effet sur la respiration : la musique avec un tempo plus rapide accélère la fréquence de la respiration qui, en retour, modifie le jugement affectif de la musique comme étant plus plaisant et excitant²³⁶.

²²⁹ REPP, Bruno H., PENEL, Amandine, "Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms", *Psychological Research*, 68(4), 2003, p. 252-270.

²³⁰ THAUT, Michael H., *op. cit.*

²³¹ PATEL, Aniruddh D. *et al.*, *op. cit.*

²³² GRAHN, Jessica A., BRETT, Matthew, "Beat-based rhythm processing in the brain", *Proceedings of the 8th International Conference On Music Perception and Cognition*, Evanston, 2004, p. 207-208.

²³³ MATEL, Matthew S. and MECK, Warren H., "Neuropsychological mechanisms of interval timing behavior", *BioEssays*, 22(1), 2000, p. 94-103.

²³⁴ JANATA, Petr, GRAFTON, Scott T., "Swinging in the brain : shared neural substrats for behaviors related to sequencing and music", *Nature Neuroscience*, 6(7), 2003, p. 682-687.

²³⁵ VAN NOORDEN, Leon, MOELANTS, Dirk, "Resonance in the perception of musical pulse", *Journal of New Music Research*, 28(1), 1999, p. 43-66.

²³⁶ GOMEZ, Patrick, DANUSER, Brigitta, "Attention please ! How breathing facilitates attentive processing of visual and auditory stimuli", *Psychophysiology*, 41, 2004.

Choix méthodologiques : quelles tâches motrices de synchronisation ?

Les études de laboratoire focalisent sur la simple tâche de frappe du doigt sur des séquences auditives de stimuli – notes ou clics. Il existe cependant des variantes découlant de différentes formes de mouvements comme taper sur une surface dure *versus* fléchir des doigts ou faire des mouvements de membres sans contact. On peut supposer que les principes de base révélés par des études de frappe de doigts s'appliquent à d'autres formes de mouvement synchronisé, en particulier s'ils impliquent des contacts périodiques avec une surface comme les pieds dans la marche et la danse, les bras et le corps bougeant plus librement. Pour le vérifier, il faudrait comparer dans les tâches de ssm les mouvements continus *versus* discontinus, libres *versus* de contact.

Effet du stimulus musical sur la structure des réponses motrices induites

Peu de recherches ont été menées avec des matériaux ou des actions proches de la réalité musicale complexe. Toutefois, des données générales peuvent être extraites d'expériences réalisées en psychologie expérimentale sur la ssm. Sur le plan corporel, malgré les différences individuelles et quelle que soit la musique, on distingue deux types de mouvements, cadencés et de structures complexes. Sur le plan musical, certaines caractéristiques rythmiques facilitent les interactions auditives et motrices, parmi lesquelles la répétition du signal, le mètre et les accents, l'accentuation par l'intensité et le tempo.

Répétition du signal

Des modifications apparaissent dans l'organisation temporelle des gestes qui se répètent au cours d'auditions successives de la même musique²³⁷. Ces gestes d'accompagnement deviennent plus nombreux et s'organisent progressivement dans le temps. Ceci provient d'un meilleur ajustement auditivo-moteur qui résulte du développement de l'effet dynamogénique lié à la familiarisation avec la musique, d'une meilleure perception des structures musicales, d'une mémorisation efficace, d'un renforcement de l'incitation motrice par la coïncidence des sensations auditives et des réactions lorsque la synchronisation entre les gestes et la musique s'établit.

La quantité d'activité manifestée par les sujets dépend de la nature de la musique et des différences d'aptitudes individuelles. Les répétitions tendent à réduire ces différences dans la quantité d'activité, sinon dans la qualité. Les gestes s'organisent dans le temps soit en mouvements isochrones, soit selon une structure temporelle complexe en relation avec la nature de la mesure ou avec la mélodie et aussi suivant les aptitudes des individus. Un mouvement cadencé apparaît très fréquemment. Une attitude passive du sujet vis-à-vis de la

²³⁷ OLÉRON, Geneviève, *op. cit.*, 1956, p. 33-50.

musique favorise sa manifestation. Un effort est nécessaire pour l'élaboration d'une activité motrice à structure complexe.

Mètre et accents

Le tapotement isochrone est fréquemment utilisé comme moyen de déterminer la période et la phase du battement métrique perçues dans des patterns rythmiques. La pulsation est un phénomène intrinsèquement sensorimoteur au sens où la perception de pulsation implique nécessairement une activité du système moteur²³⁸.

Quand un battement est difficile à percevoir, la synchronisation est moins précise ou échoue²³⁹. La synchronisation est plus facile sur une musique jouée avec expressivité comparée à une séquence monotone ou une musique qui a un pattern de timing expressif atypique ou inapproprié structurellement²⁴⁰. Plusieurs niveaux de hiérarchie métrique de la musique peuvent être simultanément incarnés dans des mouvements corporels²⁴¹. Des mouvements typiques correspondent à différents niveaux métriques, les niveaux métriques plus rapides étant incarnés par les extrémités, les plus lents par la partie centrale du corps²⁴².

Accentuation par l'intensité

L'incitation au mouvement est toujours liée à la présence d'éléments plus intenses que les autres. D'une manière générale, la force d'une réponse motrice apparaît en relation avec l'intensité du stimulus. Une musique qui comporte des retours périodiques et isochrones de temps forts, *i.e.* accentués par intensité, entraîne une activité motrice synchronisée avec les temps forts de l'exécution musicale²⁴³. A contrario, un morceau de musique qui a peu de variations intensives a peu d'effets moteurs.

L'organisation métrique manipulée via l'accentuation d'intensité module le comportement moteur et les réponses neurales dans le cortex prémoteur dorsal et auditif²⁴⁴. La

²³⁸ TODD, Neil, P. McAngus, O'BOYLE, David J. and LEE Christopher S., "A sensory-motor theory of rhythm, time perception and beat induction", *Journal of New Music Research*, 28(1), 1999, p. 5-28.

²³⁹ PATEL, Aniruddh D. *et al.*, "The influence of metricality and modality on synchronization with a beat", *Experimental Brain Research*, 163(2), 2005, p. 226-238.

²⁴⁰ REPP, Bruno H., *op. cit.*

²⁴¹ L'hypothèse principale est que des patterns de mouvements peuvent être simultanément synchronisés avec plusieurs niveaux métriques ; l'hypothèse secondaire est que, du fait des propriétés d'inertie et de biomécanique du corps, les niveaux métriques les plus hauts – les plus lents – sont incarnés dans des mouvements corporels frustes – mouvements du torse et du bassin, et les niveaux métriques plus bas – plus rapides – sont incarnés dans le mouvement des extrémités du corps.

²⁴² Le niveau du *tactus* est souvent associé avec les mouvements de torse et par des mouvements de bras verticaux et médiolatéraux, le niveau de deux battements est associé à des mouvements médiolatéraux des bras et de rotation du haut du torse, et le niveau de quatre battements, à des balancements latéraux du corps et une rotation du torse. TOIVAINEN, Petri, LUCK, Geoff and THOMPSON, Marc R., "Embodied Meter : Hierarchical Eigenmodes in Music-Induced Movement", *Music Perception*, 28, 2010, p. 59-70.

²⁴³ FRAISSE, Paul, *Psychologie du rythme*, Paris, PUF, 1974.

²⁴⁴ CHEN, Joyce L., ZATORRE, Robert J. and PENHUNE, Virginia B., "Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms", *NeuroImage*, 32, 2006, p. 1771-1781.

présence d'accents d'intensité au niveau du tactus améliore la reproduction du rythme. L'accentuation permet une perception plus précise et un encodage des rythmes²⁴⁵.

Si l'accent a pour rôle de déclencher une activité motrice, il peut être variable en intensité sans que son rôle soit perturbé. En revanche, il doit revenir à des instants précis. Dans le cas contraire, la synchronisation sensori-motrice à base d'anticipation devient impossible. La place de l'accent principal au début ou à la fin du groupe est naturelle. Le mouvement accompagne le début ou la fin du groupe et facilite la ségrégation.

Tempo

La synchronisation volontaire implique une coordination sensori-motrice qui se développe peu à peu. La synchronisation de frappes est meilleure à des tempi rapides²⁴⁶.

Seuils de vitesses limites

L'établissement de la simultanéité frappes-sons est très rapide. Dès la 3^e frappe – ou dès la 3^e structure dans le cas d'un rythme – une simultanéité relative est obtenue²⁴⁷. Les synchronisations sont optimales entre 400 et 800 ms, durées qui correspondent au tempo moteur spontané²⁴⁸. Les limites de vitesse pour le rythme musical²⁴⁹ vont de 600 événements par minute à minimum 30 événements par minute.

La ssm n'est possible que dans une gamme de fréquences (théorie des systèmes dynamiques) ou de séquences d'intervalles (théorie de traitement de l'information). Elle a des limites de vitesse inférieure et supérieure qui correspondent aux durées de l'intervalle au-delà duquel la loi de Weber²⁵⁰ ne tient pas. Elle se produit dans une gamme de cadence assez étroite aux environs de celle où on trouve des rythmes moteurs spontanés²⁵¹. La gamme d'intervalles inter-stimuli (*Inter Onset Interval*) est de 200 à 1800 ms²⁵². La limite inférieure d'IOI²⁵³ dans la phase de synchronisation tend à être fixée par la fréquence maximum à laquelle le membre effecteur peut être bougé. Le tapotement des doigts, qui est typiquement

²⁴⁵ DRAKE, Carolyn and BOTTE, Marie-Claire, "Tempo sensitivity in auditory sequences : Evidence for a multiple look model", *Perception and Psychophysics*, 54(3), 1993, p. 277-286.

²⁴⁶ BOBIN-BEGUE, Anne et PROVASI, Joëlle, « Régulation rythmique avant 4 ans : effet d'un tempo auditif sur le tempo moteur », *L'année psychologique*, Décembre 2008, p. 653.

²⁴⁷ FRAISSE, Paul, « L'anticipation de stimulus rythmiques. Vitesse d'établissement et précision de la synchronisation », *L'Année psychologique*, Volume 66, n° 1, 1966, p. 32.

²⁴⁸ FRAISSE, Paul, "Rhythm and Tempo", *The Psychology of Music*, ed. Diana Deutsch, New York, Academic Press, 1982, p. 149-180.

²⁴⁹ LONDON, Justin, "Hearing rythmique gestures : Moving bodies and embodied minds", www.people.carleton.edu/~jlonson/, le 21/09/2011.

²⁵⁰ Selon cette loi, la sensation perçue répond à la formule suivante : $S=k \times \log(I)$ (S : sensation perçue, I : intensité de la stimulation, k : constante et log, la fonction logarithmique). REPP, Bruno H., "Musical synchronization", p. 58.

²⁵¹ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974, p. 65-67.

²⁵² *Ibidem*.

²⁵³ Ou limite supérieure de fréquence pour 1:1.

de 5 à 7 par seconde, correspond à un IOI de 150-200 ms²⁵⁴. Dans le cas de cadences trop rapides interviennent des limites sensorielles et motrices. Pour les cadences plus rapides (inférieures à 200-250 ms), les écarts frappes-sons sont plus variables. La difficulté est surtout d'ordre moteur : le contrôle des mouvements n'est plus assez précis et devient impossible lorsque l'on approche la vitesse du *tapping* (120 à 150 ms entre les frappes). La vitesse la plus rapide à laquelle la synchronisation avec un métronome est possible dépend fortement de la manière de synchroniser. Des musiciens entraînés peuvent bouger leurs doigts à raison de 150-200 ms entre les frappes²⁵⁵. La limite supérieure d'IOI avec une séquence de métronome est moins précisément définie. L'aspect crucial de la ssm est la prédiction des futurs événements, ce qui la distingue d'une simple tâche de temps de réaction où la réponse est produite aussi rapidement que possible. Lorsque les IOI d'un métronome excèdent 1,8 seconde, la prédiction devient très difficile. La valeur supérieure est celle où les intervalles cessent d'être perçus comme une succession. Cette limite peut sans doute être étendue par des stratégies de subdivision mentale auxquelles recourent probablement les musiciens.

La synchronisation son-frappe est imparfaite car la frappe précède le son d'environ 30 ms en moyenne²⁵⁶. En réalité, la synchronisation ne se produirait pas entre la frappe et le son mais entre la simultanéité au niveau du cortex entre l'influx nerveux provenant du mouvement de la main et le son entendu dont la latence est infime. La comparaison de la synchronisation de la main à celle du pied indique une plus forte anticipation de la frappe du pied : il y a bien une réelle simultanéité recherchée au niveau du cortex²⁵⁷.

En ce qui concerne la variabilité intra et interindividuelle, on constate que la sensibilité à l'effet dynamogénique de la musique est assez constante chez un même sujet mais très variable d'un sujet à l'autre : chaque individu adopte un certain style moteur pour accompagner la musique et la capacité expressive du geste est fortement marquée par la personnalité. La synchronisation constitue un phénomène psychologique robuste car il est vital pour la performance motrice. Elle semble indépendante des aptitudes musicales et des dispositions pour la danse²⁵⁸.

²⁵⁴ REPP, Bruno H., *op. cit.*, p. 971.

²⁵⁵ PETERS Michael, "Why the preferred hand taps more quickly than the non-preferred hand : three experiments on handedness", *Canadian Journal of Psychology*, 34, 1980, p. 62-71.

²⁵⁶ Tout ceci n'est vrai que pour des intervalles compris entre 200 et 1800 ms.

²⁵⁷ FRAISSE, Paul, *Des choses et des mots, la prise d'information*, Paris, PUF, 1992, p. 22.

²⁵⁸ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974.

2.3.2 Le rythme, conséquence de mouvements

Dans le cadre du couplage action-perception, des recherches étudient l'influence de l'activité motrice sur la perception auditive, considérant cette fois le rythme comme la conséquence de mouvements corporels de l'auditeur.

2.3.2.1 Effets des mouvements propres à l'auditeur sur sa perception du rythme

L'étude de mouvements corporels rythmiques indique deux types de tempi : le tempo moteur spontané et le tempo préféré. Le tempo moteur spontané est une période de référence sur laquelle repose le traitement temporel, selon un modèle développemental²⁵⁹ issu de la Théorie de l'Attention Dynamique²⁶⁰. Cette période endogène particulière est mise en évidence par une tâche motrice qui consiste à demander au sujet de taper au tempo qui lui est le plus confortable, sans consigne temporelle. La sensibilité du système de traitement temporel serait meilleure pour des durées proches de la période de référence car l'attention de l'auditeur se focalise spontanément sur les événements qui se produisent à une période proche de sa période de référence. L'intervalle entre deux frappes varie de 380 à 880 ms, 600 ms étant la durée la plus représentative²⁶¹. Ce tempo évolue avec le développement génétique : relativement lent, 500 ms, chez les enfants de 5 ans, il accélère jusqu'à 7-8 ans, 360 ms, puis ralentit peu à peu, en même temps qu'augmente la variabilité interindividuelle²⁶². La faible variabilité individuelle générale semble indiquer que ce tempo est une dimension caractéristique des individus. La fréquence dépendrait des différences anthropométriques entre individus, de l'âge et des conditions environnementales. Le tempo préféré correspond à la vitesse de succession de sons ou de lumières qui semble être le plus naturel²⁶³ à l'auditeur. En moyenne, l'intervalle entre les stimuli se situe autour de 600 ms. Ce tempo inné serait fondé sur des préférences de timings dont l'origine neurobiologique est enracinée dans des aspects cinématiques de notre perception et de notre contrôle moteur²⁶⁴. Le rythme cardiaque,

²⁵⁹ DRAKE, Carolyn et BARUCH, Clarysse, « De la mesure de la sensibilité temporelle aux modèles d'organisation temporelle : hypothèses et données sur l'acquisition des capacités temporelles auditives », *L'Année psychologique*, 95, 1995, p. 555-569.

²⁶⁰ L'un des modèles contemporains de la perception et de la cognition auditive établi par Jones (1976) et Jones & Boltz (1989).

²⁶¹ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1982, p. 153.

²⁶² FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974, p. 50.

²⁶³ *I.e.* à une succession régulière jugée ni trop lente ni trop rapide.

²⁶⁴ LONDON, Justin, "Hearing rhythmic gestures: Moving bodies and embodied minds", www.people.carleton.edu/~jlondon, le 21/09/2011.

la marche, le tempo moteur spontané et le tempo préféré sont du même ordre, de 500 à 700 ms, sans toutefois que cette corrélation permette d'expliquer un phénomène par l'autre.

Le rythme musical peut être perçu par un sujet à partir de ses propres actions ou plus exactement à partir des sensations proprioceptives et vestibulaires qui accompagnent les mouvements de son corps : on parle alors de *rythme moteur* ou de mouvement rythmé. Diverses études récentes montrent que ces mouvements corporels ont une influence sur la perception auditive du mètre en particulier²⁶⁵. L'interaction mouvement-son se développe très tôt ; elle est fondamentale pour le traitement de la musique durant la vie²⁶⁶. L'encodage du mètre peut être affecté par le mouvement chez le nourrisson comme chez l'adulte. 16 % de variation du tempo préféré peuvent être prédits de facteurs anthropométriques tels que le poids, la longueur et la largeur de certains segments corporels²⁶⁷. La stimulation galvanique du système vestibulaire peut être utilisée pour désambiguïser un pattern métrique ambigu. Le système vestibulaire jouerait donc un rôle central dans la perception du rythme²⁶⁸. Les mouvements passifs de la tête biaisent la perception du mètre alors que les mouvements de membres sont sans effet²⁶⁹. Dans un pattern rythmique ambigu, sans accents, différents mouvements peuvent donner lieu à différentes interprétations métriques. En d'autres termes, la façon dont nous bougeons pourrait influencer la façon dont nous entendons²⁷⁰.

2.3.2.2 Effets des mouvements du musicien et des mouvements imaginés par l'auditeur sur sa perception du rythme

En rapprochant son et corps humain, des auteurs supposent que le mouvement est porteur de l'expressivité musicale. Ainsi, selon F. Delalande, la relation initialement purement causale entre profils sonores et gestes de reproduction du son s'intériorise et donne naissance à une dimension symbolique des formes musicales :

²⁶⁵ Dans le cas de la musique, une étude montre que la réalisation de mouvements kinesthésiques qui correspondent à des patterns musicaux améliore la capacité des enfants à percevoir ces patterns. GROMKO, Joyce E. and POORMAN, Allison Smith, "Does perceptual-motor performance enhance perception of patterned art music ?" *Musicae Scientiae*, 2(2), 1998, p. 163. TOIVIAINEN, Petri, LUCK, Geoff and THOMPSON, Marc R., *op. cit.* p. 60.

²⁶⁶ PHILLIPS-SILVER, Jessica and TRAINOR, Laurel J., "Hearing what the body feels : Auditory encoding of rhythmic movement", *Science Direct Cognition*, 105, 2007, p. 533-546.

²⁶⁷ TODD, Neil, P. McAngus, COUSINS, Rosanna and LEE Christopher S., "The contribution of anthropometric factors to individual differences in the perception of rhythm", *Empirical Musicology Review*, 2(1), 2007, p. 1-13.

²⁶⁸ TRAINOR, Laurel J. *et al.*, "The primal role of the vestibular system in determining musical rhythm", *Cortex*, 45, 2009, p. 35-43.

²⁶⁹ PHILLIPS-SILVER, Jessica and TRAINOR, Laurel J., "Vestibular influence on auditory metrical interpretation", *Brain and Cognition*, 67, 2008, p. 94-102.

²⁷⁰ PHILLIPS-SILVER Jessica and TRAINOR, Laurel J., "Feeling the Beat : Movement Influences Infant Rhythm Perception", *Science*, Vol. 308, 3 June 2005, p. 1430.

« [...] les personnes qui sont sensibles à la musique, à qui la musique parle, sont celles qui sont capables de déchiffrer derrière les sons ce jeu de gestes et de mouvements, précisément parce qu'ils sont porteurs du caractère expressif de la musique. »²⁷¹

Le rythme musical en particulier est souvent intimement lié, au point de vue de la valeur expressive, à l'acte humain qui lui a donné naissance.

« Un mouvement rythmique donné se distingue de tout autre mouvement rythmique en ce qu'il n'a et ne peut avoir qu'une expressivité bien définie, 'cette expressivité-ci' et elle seule. »²⁷²

Des expériences perceptives étudient si les modalités auditives et visuelles transportent des informations similaires sur l'expressivité dans les performances musicales. Elles indiquent que les observateurs perçoivent de manière fiable le degré d'expressivité quelle que soit la situation – audition seule, vision du musicien ou les deux à la fois²⁷³. Des recherches s'intéressent précisément à l'association par l'auditeur des sons aux mouvements du corps humain, à ceux du musicien en particulier.

« [...] le son peut être le résultat du geste humain. Et c'est ce geste qui imprime une vie au son. »²⁷⁴

Le geste de l'instrumentiste dessine le son et l'auditeur peut identifier ce son comme la trace du geste de l'instrumentiste. Cependant, cette trace n'est pas toujours fidèle au geste musical.

« De deux choses l'une : soit le son n'est que la conséquence d'un geste, mais il n'y a pas de relation de forme, c'est-à-dire que l'évolution du son ne ressemble pas à celle du geste. Pour l'auditeur le son, dans ce cas, n'a qu'une fonction d'indice : on sait, en entendant la cloche, qu'elle a été frappée ; soit, au contraire, le geste dessine complètement le son, du début jusqu'à la fin, comme dans les frottements. S'il y a un renflement du son, c'est qu'on a frotté plus fort ou plus vite. Le modelé du son de violon est exactement la trace du geste de l'archet. Ici le son n'est pas seulement l'indice, mais l'image du geste. »²⁷⁵

Des auteurs posent l'hypothèse que le *mouvement* dans la musique est encodé par le jeu, l'activité, les mouvements du musicien. L'expérience du *mouvement* musical dépendrait donc dans une certaine mesure de l'association des mouvements du musicien avec le son. Cette hypothèse semble plausible car le musicien transfère directement des qualités de mouvement au son qu'il joue. Sa manière de produire le son affecte directement les propriétés audibles de la note jouée. Du fait de leur importance dans la perception musicale de

²⁷¹ DELALANDE, François, *La musique est un jeu d'enfant*, Paris, Buchet-Chastel, 1984, p. 41.

²⁷² WILLEMS, Edgar, *Le rythme musical, Rythme-Rythmique-Métrique*, Paris, PUF, 1954/1984, p. 351.

²⁷³ DAVIDSON, Jane W., « Visual perception of performance manner in the movements of solo musicians », *Psychology of Music*, 21 (2), 1993, p. 103-113.

²⁷⁴ RENARD, Claire, *Le geste musical*, Paris, Hachette - Van de Velde, 1982, p. 85.

²⁷⁵ DELALANDE, François, *op. cit.*, p. 33.

l'auditeur, on présente ici quelques points essentiels concernant les patterns de mouvement dans la performance musicale.

J. Baily fait part²⁷⁶ des observations, éclairages et intuitions d'ethnomusicologues sur le pattern de mouvement et le pattern sonore dans la musique africaine. Il présente des liens entre les mouvements humains, la facture instrumentale et la structure musicale et considère l'instrument de musique comme un traducteur, qui convertit les patterns de mouvements en patterns sonores. Les caractéristiques physiques d'un instrument influencent, à des degrés variés, la structure de la musique jouée de sorte que ces aspects de la musique peuvent être générés de l'instrument. La nature exacte du pattern sonore, sa microstructure, dépend des caractéristiques du pattern de mouvements. L'auteur va jusqu'à penser que dans la performance musicale, la représentation cognitive en termes desquels le musicien opère peut être une représentation d'un mouvement plus qu'une représentation auditive.

L'importance des patterns de mouvements dans la performance musicale n'est pas propre à la musique africaine. S. Dahl *et al.* s'intéressent en particulier aux gestes de production du son durant la performance musicale qui impliquent généralement les bras et les mains du musicien. Le but premier de la plupart de ces mouvements est de produire ou de modifier le son mais il est également important d'observer les gestes utilisés dans la préparation du son. Les gestes répertoriés²⁷⁷ sont classés suivant leur fonction lors de la performance musicale²⁷⁸ de production du son, de communication ou de facilitation du son.

D'autres recherches portent sur l'encodage à plusieurs niveaux hiérarchiquement imbriqués de l'information des gestes du musicien dans une microstructure expressive de la performance. Le son musical serait alors l'expression temporelle de dynamiques intrinsèques du système du musicien²⁷⁹. Une étude sur l'association motrice des cycles longs dans le balancement expressif du corps de musiciens indique que les mouvements de tête du pianiste sont synchronisés avec les fluctuations du tempo expressif de la musique²⁸⁰. La variation expressive dans le tempo et dans les dynamiques corrélées peut être une représentation d'un automouvement du musicien qui a la possibilité d'induire un mouvement réel ou imaginaire de manière similaire chez l'auditeur ou l'observateur.

²⁷⁶ BAILY, John, "Music Structure and Human Movement", *Musical Structure and Cognition*, ed. Robert West, Peter Howell and Ian Cross, London, Academic Press, 1985, p. 240-242.

²⁷⁷ DAHL, Sofia *et al.*, "Gestures in Performance", in Rolf Inge Godøy and Marc Leman (ed), *op. cit.*, p. 36-37.

²⁷⁸ En fait, les fonctions des gestes sont difficilement distinguées les unes des autres, la production du son, la facilitation du son et les gestes de communication se chevauchant partiellement. Certains mouvements semblent avoir un rôle de stabilisation plus qu'un rôle de contrôle ou de communication.

²⁷⁹ REPP, Bruno H., *op. cit.*, 1993, p. 167-178.

²⁸⁰ Le tempo minimal coïncide avec les points d'inflexion du mouvement de tête. TODD, Neil, P. McAngus, "Wavelet Analysis of Rhythm in Expressive Musical Performance", *International Computer Music Conference*, Tokyo, 1993, p. 264-267.

Des études sur le développement temporel de performances musicales rapprochent la courbe de vitesse moyenne de coureurs qui ralentissent et s'arrêtent avec la courbe de tempo moyen du *ritardando* final des enregistrements de musique baroque. Elles proposent des modèles cinématiques²⁸¹ pour le retard final ainsi que pour les fluctuations de tempo des performances musicales. Il est également montré que le tempo que le musicien utilise spontanément suit la courbe temporelle des objets évoluant dans un champ gravitationnel²⁸².

Un développement musical expressif consiste en une alternance de phases d'accélération constante et de décélération sur des cycles qui correspondent à une phrase musicale. Ce type de profil temporel caractérise également diverses formes de mouvements physiques et biologiques. N. Todd suppose que la musique ayant cette propriété peut être un stimulus optimal pour la perception et l'induction de mouvements, ce qui expliquerait la préférence des auditeurs pour les performances dont l'évolution temporelle suit cette règle²⁸³.

Situant ses recherches dans une perspective neurobiologique²⁸⁴, N. Todd suggère que l'association du mouvement à la musique peut faire appel à deux mécanismes sensoriels, vestibulo-moteur et audio-visuo-moteur, qui traduisent les stimuli auditifs en information cinétique. Par conséquent, ces deux mécanismes peuvent médiatiser deux sortes de mouvement musical : le geste, par des mouvements expressifs continus, et la locomotion, associée au tempo dans la musique métrique. L'auteur propose un modèle qui relie les profils d'intensité dans la musique, générés par des paramètres psychoacoustiques variés – tempo, dynamique, articulation, timbre, vibrato – à la perception de mouvements humains.

Selon P. Shove et B. Repp, la performance en musique et la perception ont leurs origines communes dans les caractéristiques cinématiques et dynamiques similaires d'actions motrices typiques²⁸⁵. Un cadre rythmique peut donc être transmis par les musiciens aux auditeurs à travers les sons, comme le suggère les modèles informatiques de performance

²⁸¹ TODD, Neil, P. McAngus, "The dynamics of dynamics A model of musical expression", *Journal of the Acoustical Society of America*, 91(6), 1992, p. 3540-3550. *Idem*, "The Kinematics of Musical Expression", *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(3), 1995, p. 1940-1950. KRONMAN, Ulf and SUNDBERG, Johan "Is the musical ritard an allusion to physical motion ?", *Action and Perception in Rhythm and Music*, ed. A. Gabrielsson, Royal Swedish Academy of Music, 1987, p. 57-68. SUNDBERG, Johan, FRIBERG, Anders & FRYDEN, Lars, "Threshold and Preference Quantities of Rules for Music Performance", *Music perception : An Interdisciplinary Journal*, 9(1), 1991, p. 71-91

²⁸² SUNDBERG, Johan and VERRILLO, Ronald T., "On the anatomy of the ritard : a study of timing in music", *Journal of Acoustical Society of America*, 68, 1980, p. 772-779 ; TODD, Neil, P. McAngus, *op. cit.*, 1992.

²⁸³ Des tests perceptifs plus étendus sont encore nécessaires.

²⁸⁴ TODD, Neil, P. McAngus, "Motion in Music : A Neurobiological Perspective", *Music perception*, 17(1), 1999, p. 115-126.

²⁸⁵ SHOVE, Patrick and REPP Bruno H., "Musical motion and performance : Theoretical and empirical perspective", *The practice of performance : studies in musical interpretation*, ed. J. Rink, Cambridge, 1995, p. 55-83.

musicale de N. P. Todd, dans lesquels le système auditif interagit directement avec le système moteur²⁸⁶.

Quelques modèles de mouvement dans la performance musicale s'intéressent à l'organisation des durées dans le temps et aux changements d'intensité. Certaines mesures suggèrent un couplage du tempo et de l'intensité, deux paramètres qui augmentent et diminuent ensemble dans une section ou dans une phrase musicale, dans le chant²⁸⁷ et au piano²⁸⁸. Concernant l'expressivité des performances, N. Todd propose en 1992 un modèle d'énergie cinétique²⁸⁹ dans lequel l'intensité est proportionnelle au carré de la vitesse musicale²⁹⁰ et suggère également que l'expressivité musicale induit chez l'auditeur le percept de son propre mouvement. Il étend l'idée que l'expression de la performance a ses origines dans les propriétés dynamiques et cinématiques des actions motrices dans un cadre général de perception et performance²⁹¹. Toutefois, des thèses s'opposent aux modèles cinématiques, arguant que les notions physiques d'énergie ne peuvent être assimilées aux concepts psychologiques d'énergie musicale²⁹². L'explication alternative est que le changement de tempo dans les performances est guidé par des propriétés perceptives plus que par des propriétés cinématiques. Ainsi, les grands changements de tempo ne peuvent apparaître trop rapidement parce que les catégories rythmiques qui apparaissent dans la région de changement de tempo ne seront pas perçues intactes.

2.4 Bilan

Il émane de ces recherches un corpus très riche de données sur la description de la musique et du rythme musical par les mouvements de l'auditeur. On puise dans cet ensemble un grand nombre d'informations sur le matériau musical testé, sur les différents types de réponses corporelles des auditeurs et sur les méthodes et outils de recherche.

²⁸⁶ TODD, Neil, P. McAngus, *op. cit.*, 1995, p. 1940-1950.

²⁸⁷ GJERDINGEN, Robert O., "Shape and Motion in the Microstructure of Song", *Music Perception*, 6, 1988, p. 35-64 ; SEASHORE, Carl Emil, *Psychology of Music, op. cit.*

²⁸⁸ GABRIELSSON, Alf, *Action and perception in Rhythm and Music*, Royal Swedish Academy of Music, 1987. PALMER, Caroline, "Anatomy of a performance : sources of musical expression", *Music perception*, 13, 1996, p. 433-454.

²⁸⁹ Il propose un modèle avec une accélération constante par opposition à des modèles paraboliques d'intensité et de timing de patterns dans les performances au piano.

²⁹⁰ Nombre d'événements par unité de temps.

²⁹¹ TODD, Neil, P. McAngus, *op. cit.*, 1995.

²⁹² DESAIN, Peter and HONING, Henkjan, "Music, Mind and Machine : Studies in Computer Music, Music Cognition and Artificial Intelligence", *Computer Music Journal*, 19(2), 1992, p. 107-110.

Trois points de vue différents semblent portés sur les deux objets de recherche, la musique et l'auditeur. Des recherches provenant du champ de la psychologie de la musique tentent d'établir des correspondances entre musique et motricité. Elles étudient des analogies entre les deux domaines et les relations transmodales entre musique et mouvement et sont centrées sur les deux objets. Des recherches en psychologie de la musique, en psychologie cognitive et en neurosciences sont centrées sur l'auditeur. Elles étudient ses réactions en vue d'expliquer des phénomènes audio-moteurs, ou l'effet de la motricité de l'auditeur sur sa perception du rythme. Enfin, d'autres recherches issues d'un courant de recherche en cognition musicale incarnée analysent les liens entre musique et motricité dans l'objectif d'éclairer le matériau musical. Elles sont pour la plupart innovantes sur le plan technologique et mettent en place un protocole expérimental original. Les problématiques sont centrées sur le matériau musical, les études cherchant l'expression de certaines propriétés musicales dans les réactions motrices de l'auditeur. C'est dans ce cadre que se situe notre tentative d'approche empirique du matériau rythmique par le *mouvement*. A l'exception de l'essai d'A. Truslit sur le *mouvement* musical, aucune étude ne traite explicitement du *mouvement* du rythme mais des recherches sur l'expressivité musicale et sur l'émotion recourent à des concepts approchants comme les schèmes cinétiques ou les formes essentielles. L'ensemble de ces recherches exploratoires tire parti des innovations technologiques qui ont permis au cours du siècle dernier de remarquables progrès dans la capture et l'enregistrement de données sonores et corporelles. Sur le plan moteur, le recours à des mouvements de motricité fine permet à l'auditeur d'accompagner précisément le matériau musical ; l'analyse ultérieure est en mesure d'établir des liens entre ces traces de mouvements et des propriétés musicales auxquelles elles se réfèrent. Toutefois, l'analyse causale des propriétés musicales sur le mouvement corporel des auditeurs est souvent problématique du fait de la complexité du matériau écologique requis. Cependant, un grand nombre de données sur les liens entre propriétés musicales rythmiques et propriétés motrices se recourent et s'affinent.

LIVRE 2 : ÉTUDE DE LA FORME DYNAMIQUE DU RYTHME PAR LA FORME DYNAMIQUE GRAPHIQUE DE L'AUDITEUR DE CINQ ANS

A l'issue de ce cadrage théorique, nos points d'appuis fondamentaux sont les suivants : sur le plan musical, nous considérons que le *mouvement* du rythme peut être induit par un facteur de mobilité, les propriétés dynamo-agogiques, autrement dit par l'organisation temporelle de l'intensité et des durées, elle-même liée au timbre et à l'accentuation. Sur le plan de la cognition, nous considérons que la connaissance est incarnée et que le rythme et le *mouvement* sont des concepts expérientiels. Le concept de forme dynamique permet d'appréhender et de comprendre le phénomène de *mouvement* du rythme.

A partir de ces choix théoriques, nous envisageons une approche empirique du *mouvement* du rythme par le mouvement graphique de l'auditeur de cinq ans. Le concept de forme dynamique, permettant de relier toute forme de mouvement, est un outil d'analyse de la forme dynamique rythmique par la forme dynamique du mouvement. Ces choix méthodologiques font l'objet de ce deuxième livre et le troisième chapitre sera consacré aux trois éléments clefs de la méthode envisagée pour éclairer le *mouvement* du rythme : l'écoute musicale et le présent psychologique de l'auditeur, le mode *enactif* de représentation des connaissances et l'enfant prélecteur de cinq ans. Dans le quatrième chapitre, l'expérience de représentations graphiques *enactives* de patterns rythmiques percussifs par des enfants de cinq ans sera exposée avec la problématique de recherche, les hypothèses théoriques sur le *mouvement* rythmique et les hypothèses opérationnelles sur les relations entre les propriétés rythmiques supposées vectrices de *mouvement* et les mouvements graphiques de l'auditeur de cinq ans. On présentera les résultats bruts recueillis à l'issue de la passation et leur nécessaire transformation en vue d'analyser l'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques.

3 Choix théoriques et conséquences méthodologiques

L'étude des relations entre *mouvement* du rythme et mouvement graphique nécessite la recherche préalable de fondements théoriques sur les relations entre rythme et mouvement. Nous sommes amenée à rechercher des propriétés communes au domaine du rythme et du mouvement qui relèvent de deux modalités différentes, l'audition et la motricité, propriétés sur la base desquelles l'auditeur pourra établir des relations du domaine source, le rythme, au domaine cible, le graphisme.

3.1 Hypothèses théoriques

Sur un plan conceptuel, les relations entre rythme et mouvement reposent sur des hypothèses générales de relations à l'espace et au temps. Sur un plan perceptif, l'accordage entre le rythme et le mouvement corporel de l'auditeur repose sur le mécanisme de perception amodale et sur des hypothèses d'amodalité du rythme et de métamodalité du mouvement. Ces éléments favorisent le transfert de propriétés d'une modalité à l'autre et permettent d'établir des correspondances intersensorielles et interartistiques.

3.1.1 Rythme et mouvement dans leur rapport au temps et à l'espace

Rythme et mouvement entretiennent un rapport particulier au Temps et à l'Espace, deux concepts qui posent un problème complexe de relations entre ces deux grandeurs, avec des points de vue différents liés aux champs de connaissances, mathématique et physique, philosophique et phénoménologique, et musicologique. Si le rythme entretient un rapport d'analogie au temps et à l'espace, le mouvement en serait un dénominateur commun. Ce vecteur, en favorisant la prise de repères, aide à la construction du temps par l'espace et réciproquement. Véritable instrument de mesure, le mouvement est intrinsèquement lié au corps et lui confère une place centrale dans la mesure du temps et de l'espace, par sa durée et sa trajectoire :

« Il est bien vrai que le temps se mesure par l'intermédiaire du mouvement. Mais il faut ajouter que, si cette mesure du temps par le mouvement est possible, c'est surtout parce que

nous sommes capables d'accomplir des mouvements nous-mêmes et que ces mouvements ont un double aspect : comme sensation musculaire, ils font partie du courant de notre vie consciente, ils durent ; comme perception visuelle, ils décrivent une trajectoire, ils se donnent un espace. »¹

La construction des concepts de temps et d'espace par l'expérience est soulignée par J. Piaget qui considère que, chez l'enfant, la constitution du temps est parallèle à celle de l'espace et complémentaire de celles des objets et de la causalité. Ces deux concepts se construisent corrélativement, se structurent peu à peu et impliquent l'élaboration d'un système de relations :

« Le temps n'est autre chose qu'une mise en relation des événements qui le remplissent, et ceux-ci impliquent, pour se constituer, la notion d'objet et d'organisation spatiale. »²

H. Bergson prend le mouvement comme un ensemble réellement indivisible et non comme la série de ses états séparés imaginée par le mathématicien. Le mouvement proprement dit est indécomposable selon des instants ; il se fait d'une traite. Il est différent du trajet qui est divisible en autant de points infinitésimaux que l'on veut. Si l'on remplace le mouvement par le trajet, on applique les propriétés spatiales de celui-ci à celui-là, et on perd l'essence même du mouvement. La mesure du mouvement est une source de problèmes :

« L'intelligence n'en retient qu'une série de positions : un point d'abord atteint, puis un autre, puis un autre encore. [...] Enjambons cette représentation intellectuelle du mouvement, qui le dessine comme une série de positions. Allons droit à lui, regardons-le sans concept interposé : nous le trouvons simple et tout d'une pièce. Avançons alors davantage ; obtenons qu'il coïncide avec un de ces mouvements incontestablement réels, absolus, que nous produisons nous-mêmes. Cette fois nous tenons la mobilité dans son essence, et nous sentons qu'elle se confond avec un effort dont la durée est une continuité indivisible. Mais comme un certain espace aura été franchi, notre intelligence, qui cherche partout la fixité, suppose après coup que le mouvement s'est *appliqué* sur cet espace (comme s'il pouvait coïncider lui mouvement, avec de l'immobilité !) et que le mobile *est*, tour à tour, en chacun des points de la ligne qu'il parcourt. »³ ... « [...] avec des vues juxtaposées on a un succédané pratique du temps et du mouvement qui se plie aux exigences du langage en attendant qu'il se prête à celles du calcul ; mais on n'a qu'une recomposition artificielle. Le temps et le mouvement sont autre chose. »⁴

De même, la mesure du temps est problématique du fait de sa mobilité.

« [...] la durée se mesure par la trajectoire d'un mobile et le temps mathématique est une ligne ; [...] La ligne qu'on mesure est immobile, le temps est mobilité. La ligne est du tout fait, le temps est ce qui se fait, et même ce qui fait que tout se fait. »⁵

Le langage joue ici un grand rôle et rapporte le temps à l'espace.

¹ BERGSON, Henri, *Durée et simultanéité*, Paris, PUF, 1922/1998, p. 48.

² PIAGET, Jean, *La construction du réel chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1937, p. 280.

³ BERGSON, Henri, *La pensée et le mouvant*, Paris, PUF, 1938/1998, p. 6.

⁴ *Ibidem*, p. 7.

⁵ *Ibid.*, p. 3.

« La durée s'exprime toujours en étendue. Les termes qui désignent le temps sont empruntés à la langue de l'espace. Quand nous évoquons le temps, c'est l'espace qui répond à l'appel. »⁶

Or, selon H. Bergson, l'espace échoue à rendre la durée du mouvement, dont la conception est différente de celle du temps. Finalement, c'est par notre expérience que nous pouvons chercher à mieux concevoir et exprimer la durée même :

« [...] couramment, quand nous parlons du temps, nous pensons à la mesure de la durée, et non pas à la durée même. Mais cette durée, que la science élimine, qu'il est difficile de concevoir et d'exprimer, on la sent et on la vit. Si nous cherchions ce qu'elle est ? Comment apparaîtrait-elle à une conscience qui ne voudrait que la voir sans la mesurer, qui la saisirait alors sans l'arrêter, qui se prendrait enfin elle-même pour objet, et qui, spectatrice et actrice, spontanée et réfléchie, rapprocherait jusqu'à les faire coïncider ensemble l'attention qui se fixe et le temps qui fuit ? »⁷

C'est par l'expérience vécue que le mouvement et le temps, la durée, peuvent être les mieux sentis, et par l'espace qu'ils peuvent être mesurés. Le philosophe envisage l'idée de *mouvement* dans la musique comme un mouvement sans mobile. Ce changement « qui se suffit » est perçu durant l'écoute musicale accompagnée d'un mouvement régulier et apaisé de l'auditeur :

« [...] nous aurons moins de peine à percevoir le mouvement et le changement comme des réalités indépendantes si nous nous adressons au sens de l'ouïe. Écoutons une mélodie en nous laissant bercer par elle : n'avons-nous pas la perception nette d'un mouvement qui n'est pas attaché à un mobile, d'un changement sans rien qui change ? Ce changement se suffit, il est la chose même. Et il a beau prendre du temps, il est indivisible : si la mélodie s'arrêtait plus tôt, ce ne serait plus la même masse sonore ; c'en serait une autre, également indivisible. »⁸

A l'appui de ces réflexions, nous posons l'hypothèse générale que c'est par l'expérience vécue que l'auditeur peut mieux concevoir, sentir et exprimer le mouvement et le rythme et par l'espace qu'il peut les mesurer.

3.1.2 Correspondances intersensorielles

L'établissement de liens entre rythme musical et mouvement corporel repose sur la capacité de l'auditeur à transporter des caractéristiques communes par des voies différentes, ce qui suppose l'existence de propriétés globales et amodales du rythme et du mouvement. Les recherches⁹ menées par D. N. Stern en 1985 sont particulièrement éclairantes à ce propos : elles portent sur les expériences subjectives interindividuelles qui permettent l'accordage affectif entre individus, phénomène intersubjectif qui fait appel au mécanisme

⁶ *Ibid.*, p. 5.

⁷ *Ibid.*, p. 4.

⁸ *Ibid.*, p. 164.

⁹ STERN, Daniel N., *Le monde interpersonnel du nourrisson. Une perspective psychanalytique et développementale*, Paris, PUF, 1985/traduction 1989.

d'amodalité perceptive et suppose l'existence d'attributs perceptifs globaux et amodaux de l'expérience. Cet accordage est fondé sur la concordance et le partage d'affects de vitalité qui relèvent de modalités différentes. Il requiert deux conditions : des expressions comportementales différentes survenant sous différentes formes doivent être interchangeables ; deux expressions doivent partager des caractères communs qui permettent leur transfert d'une modalité à une autre. Les affects sont définis comme des expériences temporelles subjectives,

« Les affects de vitalité sont synonymes de formes de sentiment temporelles, ou de formes de sentiment, ou de formes temporelles subjectives. » ... « Ils se composent de la dynamique temporelle des changements de sentiments consistant en modifications analogiques, millièmes de seconde par millième de seconde en temps réel, d'affects, de pensées, de perceptions, de sensations. Par exemple, l'accélération ressentie qui culmine dans une explosion de colère. »¹⁰

Amodalité perceptive

D. N. Stern se situe au niveau subjectif de l'expérience telle qu'elle est ressentie et s'exprime selon des modalités qui sont la plupart du temps micrologiques mais significatives. Le mécanisme de *perception amodale*¹¹ permet que des caractères de l'expérience soient abstraits par n'importe quel mode sensoriel à partir de propriétés invariantes du monde des stimuli et traduits ensuite dans d'autres modalités de la perception. Trois champs, la philosophie, la psychologie et l'art, ont depuis longtemps posé le problème de l'unité des sens. Le psychanalyste émet l'hypothèse de l'existence de représentations abstraites¹² de propriétés amodales chez le nourrisson : ce ne sont pas des images, des sons, des touches et des objets qu'on peut nommer mais les caractères les plus globaux de l'expérience, des formes, des intensités et des figures temporelles. Ces propriétés permettent des correspondances intermodales entre des profils d'activation semblables mais exprimés par des manifestations comportementales diverses.

« La représentation amodale pourrait être un pattern intemporel de modification dans la densité de la décharge neuronale. Quelle que soit la modalité sensorielle par laquelle se fait la prise de connaissance d'un objet, qu'il s'agisse de la vue ou du toucher, ou peut-être même de l'ouïe, cela produirait le même pattern global ou profil d'activation. »¹³

¹⁰ Glossaire in STERN, Daniel N., *Le moment présent en psychothérapie Un monde dans un grain de sable*, Paris, Odile Jacob, 2003, p. 277.

¹¹ « [...], le nourrisson paraît avoir une aptitude générale et innée, que l'on peut appeler *perception amodale*, qui le conduit à traiter des informations reçues dans une modalité sensorielle donnée, et à les traduire dans une autre modalité sensorielle. Nous ne savons pas comment il accomplit ce travail. Il ne fait probablement pas l'expérience de l'appartenance des informations à des modalités sensorielles particulières. Plus vraisemblablement, elles transcendent le mode ou la modalité et existent d'une façon supra modale inconnue. Il ne s'agit donc pas simplement d'une traduction directe d'une modalité à une autre. Cela met plutôt en jeu le codage dans une *représentation* amodale encore mystérieuse qui peut ensuite être reconnue dans n'importe quel mode sensoriel », STERN, Daniel N., *op. cit.*, 1989, p. 74.

¹² L'idée d'expérience unifiée du monde par le nourrisson est une position soutenue par quelques développementalistes tels que Bower (1974), Moore et Meltzoff (1978) et Meltzoff (1981), *ibidem*, p. 74-75.

¹³ *Ibid.*, p. 84.

La perception amodale s'améliore au cours de la maturation¹⁴. Alors que ces processus ont surtout été étudiés dans la perception,

« [...] ils s'appliquent également bien à la formation d'organisations dans tous les domaines de l'expérience : activité motrice, affectivité et états de conscience. Ils s'appliquent aussi à la combinaison d'expériences de différents domaines (sensoriels et moteurs, ou perceptifs et affectifs, *etc.*). »¹⁵

Une progression développementale mène de l'imitation aux symboles : la période de formation d'un soi subjectif fournit à l'expérience du nourrisson des analogons sous forme d'accordages et constituerait un pas essentiel vers l'utilisation de symboles au cours de la deuxième année. Le bébé n'aurait besoin ni de mots ni de symboles pour se représenter différentes formes sonores, visuelles ou tactiles. Il peut donc y avoir échange de significations hors du langage, par l'interaction et la communication entre personnes.

« C'est en grande mesure grâce à ces transferts modaux d'information de forme et de mesure du temps, de l'autre à soi, que nous pouvons comprendre émotionnellement ce que c'est que d'être l'autre et que nous pouvons nous identifier à lui. »¹⁶

L'idée que la signification se construit chez un être qui n'a pas encore acquis le langage est particulièrement intéressante pour le domaine musical.

« Dans un certain sens, nos systèmes nerveux peuvent être 'captivés' par les expressions de vitalité qui émanent des autres, ou qui proviennent de la musique. »¹⁷

Propriétés amodales

D. N. Stern recherche les caractères les plus généraux de l'expérience humaine intersubjective avec la recherche des propriétés invariantes du monde des stimuli. Certaines propriétés¹⁸ des personnes et des choses – la forme, l'intensité, le mouvement, le nombre et le rythme – sont appréhendées directement comme des attributs perceptifs globaux et amodaux. L'intensité, le temps et la forme sont considérés en termes philosophiques, comme des qualités premières de l'expérience, en termes psychologiques, comme des caractères amodaux de l'expérience. A l'issue d'observation et d'analyse de comportements intersubjectifs mère-nourrisson, l'auteur constate que ces propriétés de stimulation ou de perception sont quantitatives – intensité et temps – et qualitative – forme. Elles se décomposent en six types

¹⁴ En association avec les efforts constructivistes du nourrisson fondés sur l'assimilation, l'accommodation, l'association et l'identification des invariants, processus par lesquels il fait l'expérience de l'organisation. *Ibid.*, p. 70-71.

¹⁵ *Ibid.*, p. 91.

¹⁶ STERN, Daniel N., « Aspects temporels de l'expérience quotidienne d'un nouveau-né : quelques réflexions concernant la musique », *Le temps et la forme. Pour une épistémologie de la connaissance musicale*, éd. Etienne Darbellay, Genève, Droz, 1998, p. 172.

¹⁷ *Ibidem.*

¹⁸ *Ibid.*, p. 197.

plus spécifiques d'appariement, avec, dans l'ordre décroissant de fréquence d'accordage, l'intensité, le temps et la forme.

Les profils d'intensité sont appariés dans 81% des cas. Les modifications d'intensité au cours du temps sont appariées et ce type d'appariement est le plus ordinaire. L'intensité absolue s'accorde entre les sujets dans 61% des cas. La force – l'intensité – du mouvement physique du nourrisson s'accorde avec l'intensité vocale de la mère. Il peut également appairer des niveaux d'intensité entre les modalités visuelles et auditives. Cette aptitude à trouver des correspondances transmodales audiovisuelles pour le niveau d'intensité semble être très précoce¹⁹.

Après l'intensité, les caractères temporels du comportement sont les plus communément appariés lors des accordages, parmi lesquels les propriétés de durée (69%), de pulsation temporelle (13%) et de rythme (11%). Par exemple, un rythme long-court peut être rendu par le regard, l'audition, l'odeur, le toucher ou le goût, ou être abstrait à partir de ces modalités sensorielles. Pour que cela soit possible, il faut que le rythme, dans une certaine mesure, existe dans le psychisme sous une forme qui n'est pas liée inextricablement à une façon particulière de le percevoir mais qui est suffisamment abstraite pour être transférée d'une modalité à une autre.

Concernant la forme, on constate qu'une caractéristique spatiale quelconque d'un comportement peut être abstraite et rendue par un acte différent dans 47% des cas d'intermodalité. Le nourrisson possède très tôt la compétence de coordination intermodale de la forme ou de la configuration. Il transfère la forme d'un objet fixe du mode tactile au mode visuel. Concernant les formes cinétiques, *i.e.* des configurations changeantes au cours du temps, la plupart des comportements humains en sont composés. Les vocalisations sont l'une des formes cinétiques les plus fréquentes dans les accordages. Des correspondances entre des formes cinétiques sont établies par l'enfant entre vision et audition aussi bien qu'entre vision et toucher. Le transfert de propriétés le plus difficile à imaginer est celui du mode visuel au mode auditif. La forme n'est pas habituellement conçue comme un événement acoustique. Pourtant, des expériences sur la tâche d'appariement audio-visuel²⁰ indiquent que le nourrisson établit la correspondance entre la configuration d'un son tel qu'il est entendu et celle des mouvements de la bouche. Il est donc capable d'exécuter des transformations transmodales audio-visuelles.

¹⁹ Dès trois semaines, le nourrisson établirait une correspondance entre intensité lumineuse et intensité sonore. LEWKOWICZ, David J. and TURKEWITZ, Gerald, "Cross-Modal Equivalence in Early Infancy : Auditory-Visual Intensity Matching", *Developmental Psychology*, 1980, 6, p. 597-607.

²⁰ MacKAIN, Kristine S. *et al.*, "Infant intermodal speech perception is a left-hemisphere function", *Science*, 219, 1983, p. 1347-1348 ; KUHLE, Patricia K. and MELTZOFF, Andrew N., "The bimodal perception of speech in infancy", *Science*, 218, 1982, p. 1138-1141.

Les propriétés temporelles sont d'une grande importance dans les aspects dynamiques du rythme et du mouvement. Des recherches complémentaires indiquent qu'elles sont particulièrement favorables au transfert transmodal²¹ car très tôt dans sa vie, le nourrisson a une conscience et une sensibilité aiguës des aspects temporels de l'environnement²². Il a l'aptitude de percevoir une structure temporelle commune à ce qu'il entend et voit. Il peut ainsi différencier le soi de l'autre et différencier cet autre-ci de cet autre-là. Il a une tendance à établir une correspondance entre des événements synchrones dans des modalités sensorielles différentes. Il peut reconnaître des structures temporelles communes, que les événements synchrones soient dans la même modalité ou non, l'un visuel, l'autre auditif. Le temps lui fournit une structure organisatrice qui l'aide à identifier des entités distinctes. Le nourrisson est capable de discriminer des patterns temporels auditifs²³ dès 2 mois ½ et devient de plus en plus performant au cours de la première année²⁴. Il différencie les patterns visuels sur la base de changements dans les paramètres temporels, de fréquence de clignotement de lampes ou de rythme de mouvements²⁵. Dès 4 mois, il discrimine des séquences rythmiques de mouvement. Les différentes modalités sensorielles sont coordonnées très tôt²⁶. Le nourrisson peut associer ce qu'il voit et entend quand les stimuli visuels et auditifs sont temporellement synchronisés. On ne peut toutefois affirmer qu'il transfère l'information temporelle d'une modalité sensorielle à l'autre²⁷. Il est capable d'abstraire l'information temporelle des caractéristiques de la modalité sensorielle dans laquelle un événement ou un signal est présenté, de la mémoriser et de la comparer à l'information temporelle qu'il a abstraite d'une stimulation présentée dans une seconde modalité.

²¹ SPELKE, Elizabeth S., "Infants' intermodal perception of events", *Cognitive Psychology*, 8, 1976, p. 553-560. LYONS-RUTH, Karlen, "Bimodal perception in infancy: response to auditory-visual incongruity", *Child Development*, 48, 1977, p. 820-827. LAWSON, Katharine R., "Spatial and temporal congruity and auditory-visual integration in infants", *Developmental Psychology*, 16(3), 1980, p. 185-192.

²² STERN, Daniel N. and GIBBON, John, "Temporal expectancies of social behavior in mother-infant play", *Origins of the infant's social responsiveness*, ed. E. B. Thoman, Erlbaum, Hillsdale, 1978, p. 409-429. De CASPER, Anthony J., and FIFER, William P., "Of human bonding: Newborns prefer their mothers' voice", *Science*, 208, 1980, p. 1174-1176. MILLER, C. L. and BYRNE, J. M., "The role of temporal cues in the development of communication", *The origins and growth of communication*, ed. L. Feagans, C. Garvey and R. Golinkoff, Norwood, Ablex, 1984, p. 77-101.

²³ DEMANY, Laurent, « L'appréhension perceptive des structures temporelles chez le nourrisson », *Du temps biologique au temps psychologique*, Symposium de l'APSLF (Poitiers), Presses Universitaires de France, Paris, 1979, p. 217-227.

²⁴ TREHUB, Sandra E. and CHANG, Hsing-Wu, "Auditory processing of relational information by young infants", *Journal of Experimental Child Psychology*, Academic Press, 24 (2), 1977, p. 324-331 ; MORRONGIELLO, Barbara A., "Auditory temporal pattern perception in 6- and 12-month infants", *Developmental Psychology*, 20, 1984, p. 441-448.

²⁵ MENDELSON, Morton J., "Perception of the temporal pattern of motion in infancy", *Infant Behavior and Development*, 9, 1986, p. 231-243.

²⁶ HATWELL, Yvette, "Transferts intermodaux et intégration intermodale", *Traité de Psychologie Expérimentale, Tome 1*, éd. M. Richelle, J. Requin et M. Roberts, Paris, PUF, p. 543-584.

²⁷ SPELKE, Elizabeth S., "Perceiving bimodally specified events in infancy", *Developmental Psychology*, 15, 1979, p. 626-636.

La première année de la vie étant celle de la sensori-motricité, les compétences temporelles sont envisagées du point de vue moteur et perceptif²⁸. Le nourrisson synchronise les types d'information visuelle et auditive. Il perçoit et différencie les objets entre eux grâce à des informations temporelles dynamiques de mouvement et de vitesse, par exemple, des types de mouvement régulier *versus* saccadé, lent *versus* rapide.

Ces données scientifiques sont particulièrement importantes car elles permettent d'envisager l'accordage de mouvements corporels avec des propriétés musicales rythmiques. On retient que le rythme et le mouvement sont appréhendés directement comme des attributs perceptifs globaux et amodaux. Leurs profils d'activation, autrement dit leurs déroulements temporels sont comparables. La dynamique des événements rythmiques et moteurs est donc le point de comparaison entre rythme et mouvement qui relèvent de deux modalités différentes, l'audition et la motricité. Le temps fournirait au sujet une structure organisatrice qui l'aide à identifier ces deux entités distinctes. De nombreuses données sur la correspondance entre audition et motricité s'appuient sur des données temporelles dynamiques, ce sur quoi D. N. Stern insiste²⁹ en 2010, avec le caractère amodal des aspects dynamiques de l'expérience qui se situent en deçà des registres sensoriels déterminés. D'autres recherches permettraient sans doute d'enrichir le répertoire des propriétés intermodales ou encore de les classer suivant d'autres critères. En effet, on constate par exemple qu'un profil d'intensité implique également le temps. Il se rapproche de l'intensité en tant que quantité mais également de la forme en tant que qualité. Les données sur l'intermodalité pourraient encore être complétée par l'étude des propriétés rythmiques plus précises, en analysant l'accordage intermodal suivant les trois critères de structure, de périodicité et de *mouvement* du rythme et, dans un contexte d'écoute musicale, suivant les profils temporels de caractéristiques simples ou combinées de durées, d'intensité, de timbre.

3.1.3 Correspondances interartistiques

Interartisticité du rythme

Profondément ancré dans la réalité biologique et psychique de l'être humain,

« Le rythme occupe ainsi une place centrale dans les pratiques artistiques de l'espèce humaine dont il constitue une composante essentielle. »³⁰

²⁸ POUTHAS, Viviane, « Développement de la perception du temps et des régulations temporelles de l'action chez le nourrisson et l'enfant », *Naissance et développement du sens musical*, éd. Irène Deliège et John A. Sloboda, Paris, PUF, 1995, p. 134-163.

²⁹ STERN, Daniel N., *op. cit.*, 2010.

³⁰ MOLINO, Jean, *Le singe musicien*, Paris, Actes Sud/INA, 2009, p. 411.

Le rythme est reconnu comme une racine commune aux arts du mouvement, notamment par A. Mocquereau qui considère qu'il n'existe qu'une seule rythmique générale dont les lois fondamentales³¹ établies sur la nature humaine se retrouvent nécessairement dans toutes les créations artistiques de tous les peuples, dans tous les temps. Les diverses manières d'appliquer ou de se soustraire à ces lois expliquent la multiplicité des systèmes rythmiques. Selon E. Willems, le rythme est, par essence, un élément prémusical, d'ordre plus général, un élément primordial qui existe en toute chose. Le rythme sonore est un cas particulier du rythme qui peut se présenter sous d'autres aspects, graphique, plastique, sculptural.

« Si l'on veut atteindre le rythme dans son essence profonde, il faut abstraire du rythme musical non seulement les qualités musicales mais encore les qualités sonores ; il reste ainsi un substratum rythmique insonore qui peut aussi bien se traduire plastiquement ou graphiquement que musicalement. »³²

Des formules de rythmes musicaux pourraient donc être réalisées sans qu'elles soient sonores. Un rythme transmis par pression serait non sonore mais bien vivant et caractéristique. Un rythme plastique, rendu sonore, serait un rythme musical. Réciproquement, un rythme musical, spatialisé, serait un rythme plastique, graphique.

Dans la perspective d'une esthétique générale comparée, P. Sauvanet³³ constate que si le rythme a une signification différente dans les arts musical, poétique, pictural, sa présence est chaque fois reconnue en termes de structure et/ou de périodicité et/ou de mouvement. Le rythme présente des analogies temporo-spatiales quant à ses trois critères et les analogies visuelles-sonores semblent indiquer une transartisticité du concept de rythme. A titre d'hypothèse de travail, le philosophe pose que la structure est par définition autant sonore que visuelle, autant temporelle que spatiale. Sous ce rapport, il peut y avoir un rythme du temps aussi bien qu'un rythme de l'espace. La structure sonore et temporelle des rythmes trouve son analogue dans une structure visuelle et spatiale. Chacune des composantes d'une structure sonore – durée, intensité, timbre, hauteur, trouve son analogue dans la structure visuelle – dimension, intensité, matière, couleur. Il existe un vocabulaire commun à l'espace et au temps, aux arts sonores et visuels – rapport, poids, ton, grain. La périodicité semble également posséder ces deux versants, pour l'œil et pour l'oreille, dans l'espace et dans le temps – période, fréquence, nombre. Quant au mouvement, il appartient à l'espace *et* au temps :

« L'espace-temps du mouvement s'articule ainsi entre l'espace de la structure et le temps de la périodicité. »³⁴

³¹ Dans son ouvrage *Le nombre musical grégorien ou rythmique grégorienne*, il expose les lois générales du rythme avant de présenter leur application théorique et pratique aux mélopées liturgiques. MOCQUEREAU, André, *Le nombre musical grégorien ou rythmique grégorienne*, Tome 1, Paris, Desclée et Cie, 1908.

³² WILLEMS, Edgar, *Le rythme musical, Rythme-Rythmique-Métrique*, Paris, PUF, 1954/1984, p. 64.

³³ SAUVANET, Pierre, *Le rythme et la raison, I Rythmologiques*, Paris, Kimé, 2000.

³⁴ *Ibidem*, p. 194.

En synthèse, les analogies temporo-spatiales des trois sous-concepts du rythme – structure, périodicité, mouvement – sont les suivantes :

CONCEPT	SOUS-CONCEPT	Vocabulaire commun temps-espace	TEMPS	ESPACE
RYTHME			SONORE	VISUEL
	STRUCTURE			Renvoie à la SIMULTANEITE
		Rapports	Durée	Dimension
		Poids	Intensité	Intensité
		Ton	Hauteur	Couleur
		Texture/Grain	Timbre	Matière
	PÉRIODICITÉ		Renvoie à la SUCCESSION	
		Période ou cycle	Intervalle de temps	Intervalle d'espace
		Nombre de période	Répétition	Multiplication
		Fréquence ou Vitesse (1/P)	Tempo/vitesse, en référence à une Unité de temps	Echelle, en référence à une Unité de grandeur
	MOUVEMENT		Renvoie au Temps	et à l'Espace
			Irrégularité de la périodicité : agogique	Imprévisibilité de la structure : syncope

Tableau 19: Analogies temporo-spatiales des sous-concepts du rythme, Structure, Périodicité, Mouvement

Ce rapport d'analogie entre rythme du temps et rythme de l'espace nous permet de rapprocher la forme dynamique graphique, avec ses données spatiales de structure, périodicité et de mouvement, de la forme dynamique rythmique, avec ses données temporelles de structure, périodicité et *mouvement*. La dynamique du graphisme, dans le déroulement temporel de sa forme, dans son traçage et, de façon résiduelle, dans sa trace peut s'accorder à la dynamique du rythme musical, au déroulement temporel des événements musicaux liés à sa structure, sa périodicité et son *mouvement*.

Interartisticité du mouvement

L'hypothèse de métamodalité du mouvement permet d'envisager l'existence de formes temporelles abstraites et un isomorphisme entre comportement et arts. Le rapprochement du *mouvement* musical et du mouvement corporel est possible car la musique comporte des patterns de tension et détente qui ressemblent dans leurs aspects de structures aux aspects kinesthésiques de mouvement. B. M. Teplov considère la musique comme une

abstraction de manifestations corporelles du mouvement. Elle serait la représentation la plus directe du mouvement³⁵ par des aspects dichotomiques (rapidité-lenteur, accélération-ralentissement, continuité-discontinuité) et par des éléments de la dynamique des processus (force-faiblesse, renforcement-affaiblissement). Selon le psychologue de la musique, les aspects rythmiques et dynamiques sont les plus représentatifs de mouvement.

3.1.4 Conséquences méthodologiques

Les arguments théoriques précédents sont en faveur d'un accordage potentiel entre le rythme et le mouvement corporel de l'auditeur. Ils engendrent des choix méthodologiques dans l'objectif d'approcher le *mouvement* du rythme. Cette variable n'étant pas appréhendable directement, la méthode choisie pour l'éclairer est le traçage du graphisme par l'auditeur lors de l'écoute du rythme. Les trois éléments clefs de la méthode sont l'écoute en temps réel, la représentation graphique enactive et l'auditeur.

L'expérience du *mouvement* du rythme via les mouvements de l'auditeur est vécue dans le temps de l'écoute. Pour la comprendre et l'analyser, il est nécessaire d'explorer le présent psychologique du sujet et de s'intéresser au traitement de l'information musicale en temps réel.

Pour décrire le flux rythmique, on envisage le traçage graphique produit en temps réel par l'auditeur. La représentation graphique est une forme alternative de description de la musique, non linguistique. Le mode *enactif* de représentation est fondé sur les mouvements corporels. Il semble particulièrement adapté à la description d'un flux sonore : ses aspects dynamiques moteurs pourraient se coordonner aux aspects dynamiques du rythme et simuler le *mouvement* du son par le mouvement corporel.

La représentation *enactive* étant première dans l'ontogenèse, ce mode de représentation des connaissances est privilégié par le jeune enfant qui recourt à la motricité comme moyen de cognition et d'expression.

Ces principaux choix méthodologiques nécessitent de compléter le cadre théorique par des données sur le présent psychologique de l'auditeur et sur les aspects formels et dynamiques de la représentation graphique, avec les rapprochements potentiels entre formes dynamiques graphiques et rythmiques. Pour clore ce cadre, on établira une table de référence concernant les aptitudes rythmiques et graphomotrices des enfants prélecteurs et leurs stratégies de représentation graphique du rythme.

³⁵ TEPLOV, Boris Mikhailovich, *Psychologie des aptitudes musicales*, Paris, PUF, 1952/ trad.1966, p. 15.

3.2 Analyse de l'écoute musicale en temps réel

Dans l'écoute musicale, la forme est graduellement appréhendée dans le temps. Elle se construit dans un processus dynamique de perception. Selon J. London,

« Écouter la musique, c'est s'engager avec les phénomènes de durée, de succession et de mouvement, et pour décrire cette expérience il faut saisir les relations entre passé et présent et les sens de l'être et du devenir. »³⁶

La saisie des qualités dynamiques de la succession des événements musicaux se fait en temps réel, dans le présent musical.

3.2.1 Présent psychologique

Le concept de *présent* en tant qu'entité psychologique a reçu plusieurs noms au XX^e siècle, ces expressions s'efforçant d'identifier une unité de processus : W. James présente le concept de '*Specious present*' (1890), W. Stern, le *Présent personnel* (1930), K. Koffka, le *Présent actuel* (1935), P. Fraisse, le *Présent perçu* ou *Présent psychologique* (1956), E. Pöppel, le *Présent subjectif* (2004), et D. N. Stern, le *Moment présent* (2010). W. James caractérise le '*Specious present*' comme un empan³⁷ temporel d'attention, une fenêtre ouverte sur l'expérience, qui déplace continuellement le point de vue dans le temps :

« Le présent connu pratiquement n'est pas une lame de couteau, mais un dos d'âne, avec une certaine largeur, sur lequel nous sommes perchés, et d'où nous regardons dans deux directions dans le temps. »³⁸

Avec ce concept, P. Fraisse suggère l'idée d'un empan temporel qui permet d'actualiser dans l'écoute des structures sonores déjà physiquement disparues et dans lesquelles s'organisent des éléments successifs en une suite de formes d'où résulte la perception du rythme musical.

« Ce présent psychologique (dit encore présent psychique ou actuel ou mental) est la caractéristique fondamentale de notre perception du successif et il joue un rôle analogue à

³⁶ Traduction de l'auteur. "To listen to music is to engage with the phenomena of duration, succession and motion, and to describe that experience one must capture relations of past and present, and senses of being versus becoming", LONDON, Justin, "Rhythm", *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, vol. 21, 2001, p. 300.

³⁷ Dans un sens large, le terme « empan » évoque ce que l'on peut saisir d'une seule main dans un simple mouvement. Il permet de qualifier ce qui est été perçu dans une unique présentation.

³⁸ Traduction de l'auteur. "The practically cognized present is no knife-edge, but a saddle-back, with a certain breadth of its own on which we sit perched, and from which we look in two directions in time.", James William, *The Principles of Psychology*, 1890, p. 609, in DOWLING, Jay and HARWOOD, Dane L., *Music Cognition*, San Diego, Academic Press, 1986, p. 179.

celui de l'angle de vision dans l'espace. Sans présent psychologique, pas de perception globale du successif et sans perception globale, pas de structure rythmique. »³⁹

D. N. Stern s'intéresse à la nature de l'expérience présente. Dans son ouvrage *Le moment présent en psychothérapie*, il se penche sur des événements affectifs brefs mais significatifs, qui se déploient dans quelques secondes qui constituent le « maintenant ». En référence à la philosophie husserlienne et aux caractéristiques phénoménologiques du monde subjectif, il conçoit le *moment présent* comme une expérience ressentie de ce qui se passe pendant une brève période de conscience. L'une des tâches importantes de l'esprit consiste à donner un sens au flux presque ininterrompu de stimulations.

« Les humains ont l'air constitués de sorte qu'ils appréhendent les événements en unités de base de moments présents qui sont les unités fondamentales pour la compréhension des expériences dynamiques sur le plan temporel qui émanent du soi et d'autrui. »⁴⁰

Cette expérience subjective est activement construite par l'esprit et le corps qui travaillent ensemble. Le moment présent trace un contour temporel en se déployant. On lui attribue une dynamique temporelle, qui est une caractéristique essentielle de l'expérience. Ces paramètres temporels se retrouvent dans le mouvement, la gestuelle, la danse, le discours, et dans la musique où la phrase prend une forme cohérente et unitaire dans l'esprit pendant qu'elle se joue. Le moment présent, pendant qu'il est vécu, ne peut être saisi par le langage qui le re-constitue après les faits. D. N. Stern propose de

« l'explorer afin de mieux y réfléchir et d'inventer des approches. »⁴¹

L'observation et l'analyse d'expériences corporelles vécues dans ce temps présent apparaissent comme une voie possible d'approche de sa description.

En 2004, E. Pöppel s'intéresse au *présent subjectif* en tant que niveau d'intégration temporelle où la perception d'une forme temporelle apparaît⁴². Il considère que la compréhension des processus perceptif et cognitif nécessite la prise en compte de la dimension temporelle des mécanismes d'intégration temporelle, mécanismes qui seraient indépendants du contenu de l'acte perceptif ou cognitif. Le neuroscientifique fournit une revue de preuves de la segmentation temporelle aux environs de trois secondes⁴³ : la durée des

³⁹ FRAISSE, Paul, *Les structures rythmiques, étude psychologique*, Louvain, Erasme, 1956, p. 19.

⁴⁰ STERN, Daniel N., *Le moment présent en psychothérapie*, p. 75.

⁴¹ *Ibidem*, p. 26.

⁴² PÖPPEL, Ernst, "Lost in time : a historical frame, elementary processing units and the 3-second window", *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64, 2004, p. 295-301.

⁴³ Les observations et expérimentations s'étendent aux domaines de processus perceptifs de l'audition et de la vision, de l'évaluation cognitive, au contrôle du mouvement, à la parole, aux artefacts culturels, à la représentation en mémoire, à l'accentuation perceptive ou à l'intégration temporelle.

actes intentionnels spontanés⁴⁴ tombe dans cette fenêtre temporelle. L'intégration temporelle dans la gamme de deux ou trois secondes définit un singulier « état d'être conscient »⁴⁵. C'est un processus universel, automatique et présémantique, un principe général du mécanisme neurocognitif. La durée du présent perceptif est sensiblement différente pour d'autres chercheurs qui estiment, contrairement à E. Pöppel, qu'elle dépend de la structure de ce qui est perçu. Ainsi, selon P. Fraisse, la fenêtre temporelle du présent psychologique s'étend à quelques secondes, et sept éléments⁴⁶ – plus ou moins deux – peuvent tenir dans la mémoire immédiate. Les unités rythmiques poétiques et musicales s'inscrivent dans ce cadre, la pratique artistique semblant respecter cette donnée fondamentale de notre perception. D. N. Stern précise que le moment présent ne se passe pas dans un éclair pour ne devenir observable qu'une fois terminé :

« Il traverse la scène mentale plus lentement et prend plusieurs secondes pour se dérouler. Pendant ce passage, il donne lieu à un drame émotionnel vécu. En se déroulant, le drame crée une forme temporelle comparable à une phrase musicale éphémère. »⁴⁷

Une période d'environ trois à quatre secondes, variant de une à dix secondes selon ce qui est regroupé, semble être une durée naturelle pour les processus de groupement par l'esprit d'événements en ensembles basiques, perceptuels, performatifs et conscients. C. Trevarthen situe le temps présent du mouvement du corps en conscience immédiate entre 300 ms et 6 sec. Dans cette zone temporelle, les actions du corps sont pleinement conscientes, depuis les mouvements contrôlés les plus rapides jusqu'aux éléments organisés avec cohérence, *i.e.* les actions, expressions, ou cycles d'orientation sélective.

« Cette zone temporelle est qualifiée de 'présent psychologique' ; sa dynamique est déterminée par les actions qu'un individu exécute maintenant, à cet instant, et dans le 'contexte' défini par les secondes séparant le passé et le futur immédiats (Husserl, 1964 ; Pöppel, 2002 ; Stern, 2004 ; Varela, 1999). Il s'agit là du temps rythmique de l'action dans la danse et la musique. »⁴⁸

Selon des données de psychologie cognitive⁴⁹, le traitement de l'information musicale se divise en échelles temporelles allant de la perception de l'instant à la représentation mentale de la grande forme. Quatre échelles perceptives du temps musical – l'instant, le présent

⁴⁴ Les parleurs, indépendamment de l'âge ou de la langue, tendent à produire des énoncés verbaux de deux à trois secondes.

⁴⁵ "State of Being Conscious", *ibidem*, p. 300.

⁴⁶ FRAISSE, Paul, "Rhythm and Tempo", *The Psychology of Music*, ed. Diana Deutsch, London, Academic Press, 1982.

⁴⁷ STERN, Daniel N., *Le moment présent en psychothérapie*, p. 20.

⁴⁸ TREVARTHEN, Colwyn, « L'art musical et conversationnel du bébé : narrations dans le temps du vécu partagé, sans interprétation rationnelle, avant les mots », *Musique et évolution*, éd. Irène Deliège, Olivier Vitouch et Olivia Ladinig, Wavre, Mardaga, 2010, p. 101-122.

⁴⁹ *Le rythme*, Actes de la journée du 23 mars 2005 des 2^e rencontres interartistiques de l'OMF, Textes réunis et édités par Philippe Lalitte, 2006.

perceptuel, le présent élargi et la forme perçue – s’inscrivent dans un processus qui va d’une perception sensorielle, inconsciente et automatique, pour aboutir à une représentation abstraite. À tous les niveaux de traitement, l’auditeur émet des hypothèses et prend des décisions plus ou moins automatiquement qui vont conduire son écoute locale et déterminer la reconstruction de la forme. Les deux premières échelles⁵⁰ de perception temporelle impliquent des processus sensoriels et cognitifs. L’instant est une échelle micro-locale de quelques millisecondes à quelques secondes qui correspond à la reconnaissance de sources sonores et de micro-événements sonores dont S. MacAdams décrit cinq étapes de traitements successifs⁵¹ : transduction sensorielle⁵²; groupement auditif⁵³; analyse des propriétés et/ou traits auditifs⁵⁴; ajustement au lexique auditif⁵⁵; reconnaissance et identification⁵⁶. Les trois premières font appel à la mémoire sensorielle, les dernières dépendant des mémoires à court et à long terme. Concernant le présent perceptuel, selon N. Cowan⁵⁷, le traitement de l’information est contraint par l’interaction entre l’empan de la mémoire de travail et le focus attentionnel.

« En plus de la mémoire sensorielle, cette fenêtre active la mémoire de travail dont la tâche est de maintenir temporairement et de manipuler les informations consciemment durant la réalisation d’un ensemble de tâches cognitives sous le contrôle d’un administrateur central. »⁵⁸

Ce modèle stipule un partage des ressources lors de l’exécution des plages de traitement et de maintien de l’information. Le laps de temps du présent perceptuel varie donc probablement en fonction des propriétés structurelles du stimulus.

L’expérience d’écoute en temps réel limite la figure rythmique à quelques secondes :

⁵⁰ Nous laissons de côté les deux plus grandes échelles :

- Le « présent élargi », jusqu’à 30 sec. : « Il se situe toujours au niveau local mais fait appel à des processus qui sont chargés de connecter les différents présents entre eux. On peut le décrire comme un ensemble de présents perceptuels articulés par l’auditeur en fonction d’une cohérence structurelle. » LALITTE, Philippe, « Implications compositionnelles et perceptives des échelles temporelles locales et globales », *Le rythme, ibidem*, p. 26.

- La « forme expérientielle » : « A cette étape, l’auditeur n’est plus dans le domaine de la perception. Il n’a que la possibilité de rassembler un ensemble de percepts, d’informations et de ressentis expérimentés pendant le déroulement de la pièce. La forme expérientielle est donc à la fois le résultat d’une expérience sensorielle et émotionnelle et d’une reconstruction abstraite dépendant de nombreux facteurs certains purement cognitifs, d’autres d’ordre culturel. » *Ibid.*, p. 27.

⁵¹ McAdams, Stephen, « La reconnaissance de sources et d’événements sonores », *Penser les sons : La psychologie auditive de l’audition*, éd. Stephen McAdams et Emmanuel Bigand, Paris PUF, 1994, p. 157-213.

⁵² Représentation du signal acoustique dans le système nerveux auditif périphérique.

⁵³ Séparation des différentes sources sonores et intégration dans différents groupes.

⁵⁴ Micropropriétés spectrales et temporelles (de 10 à 100 ms), macropropriétés de la configuration temporelle et macropropriétés de variations spectrales (de 200 ms à quelques secondes).

⁵⁵ Comparaison à des catégories de source et d’événements similaires.

⁵⁶ Activation du lexique verbal et de structures sémantiques associées.

⁵⁷ COWAN, Nelson, “An Embedded Processes Model of Working Memory”, *Models of Working Memory : Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, ed. Akira Miyake and Priti Shah, Cambridge, Cambridge University Press, 1999, p. 62-101.

⁵⁸ LALITTE, Philippe, *ibid.*, p. 26.

« [...] Le 'rythme' peut être une qualité des figures musicales et du mouvement qui est appréhendée dans l'empan du présent perceptif [...]. »⁵⁹

3.2.2 Perception du flux musical

A propos de la perception musicale, R. Francès estime qu'

« On ne peut la concevoir que comme un processus en développement, jamais sous l'aspect du schéma 'stimulus-réponse'. »⁶⁰

Il souligne le caractère analytique des actes impliqués dans l'expérience d'écoute et précise que l'activité perceptive peut être étudiée à différents niveaux de vigilance.

« Toutes les techniques d'exploration de la conscience perceptive mettent en jeu, à un degré quelconque, un processus d'analyse. »⁶¹

L'analyse musicale s'effectue d'abord à des niveaux non réfléchis, avec la décomposition d'une structure et l'émergence d'éléments privilégiés⁶². Il existe différents niveaux d'intégration de l'information captée lors de l'écoute musicale. Une part de l'information appréhendée demeure infra-consciente : il s'agit de subception⁶³, distincte de la perception qui,

« au sens strict du terme, se rapporte à l'instauration d'une image mentale en conscience, instauration consécutive à une prise quelconque d'informations sur la réalité. »⁶⁴

Face à des structures acoustiques aussi complexes que la musique, l'auditeur peut recourir à plusieurs stratégies d'écoute. Il peut plus ou moins consciemment diriger son attention sur divers aspects de la musique ou essayer de repérer des relations entre événements successifs ou entre groupes d'événements séparés dans le temps. Concernant les mécanismes du processus perceptif, dans son appréhension de l'œuvre, notre oreille opère une double sélection :

« un choix des instants où fixer notre attention et un tri – anticipé – des informations à prendre. Ainsi s'informe un réseau d'informations discret servant de support à l'œuvre. Et, entre deux prises d'information, la continuité de l'œuvre est restituée par un effort d'imagination. »⁶⁵

⁵⁹ Traduction de l'auteure. "[...] 'rhythm' may be a quality of musical figures and movement that is apprehended within the span of the perceptual present [...]", LONDON, Justin, *ibidem*, p. 278.

⁶⁰ FRANCÈS, Robert, *La perception de la musique*, Paris, Vrin, 1984/2002, p. 9.

⁶¹ *Ibidem*, p. 86.

⁶² La différenciation des membres d'un tout, même si elle n'est pas explicitement formulée, est déjà une analyse latente.

⁶³ Le préfixe renvoie aux mécanismes de prise d'information se développant en-dessous du niveau de conscience.

⁶⁴ VECCHIONE, Bernard, « Trois problèmes de perception musicale », *Marsyas*, (7), Septembre 1988, p. 61.

⁶⁵ *Ibidem*.

La perception revient donc nécessairement à sélectionner des moments où fixer l'attention et des informations à prendre. Le sujet élabore des stratégies de prévision des instants les plus importants où des informations utiles lui seront communiquées et, entre deux instants de prise d'informations, il aura à reconstituer l'œuvre dans sa continuité. Il est cependant difficile de savoir quels sont les points que choisit le sujet pour prendre de l'information dans le temps. Cela dépend des caractéristiques de l'œuvre musicale donnée à percevoir, des idiomes musicaux dont il a la compétence, mais aussi de cette compétence et de son plus ou moins haut degré d'élaboration.

Dans la perception musicale, R. Francès distingue des faits d'acculturation, irréfléchis et involontaires, résultant de la familiarité presque passive des œuvres et des faits d'éducation. Dans ce cas, le développement de l'activité perceptive est soutenu par l'acquisition de concepts, de symboles qui permettent de définir les formes, leurs éléments et leurs articulations. L'éducation artistique permet le développement d'une « attitude analytique » consciente et volontaire de sorte que l'activité perceptive atteint une aisance et une maîtrise supérieure, avec la possibilité de fixer et de différencier dans l'audition musicale.

« La forme et l'informe, l'unité et l'incohérence ne peuvent se définir, dans bien des cas, que par référence à ce qu'on peut appeler l' 'âge esthétique' d'un sujet. »⁶⁶

S. Arom souligne les difficultés d'analyse de l'écoute musicale au sein d'une culture et de groupes d'humains :

« Aucune méthode rigoureuse ne permet encore aujourd'hui d'appréhender la diversité des perceptions, des images, des pensées induites par l'écoute de la musique ; on sait, par exemple, qu'une œuvre entendue simultanément par 1000 personnes réunies dans une salle de concerts, revêt pour chacune d'elle une 'signification' différente. »⁶⁷

On peut supposer que l'appréciation des structures temporelles est déterminée par les limites de ce que l'on peut se représenter en mémoire et de ce avec quoi on peut physiquement « entrer en résonance ».

3.3 Forme dynamique graphique

Avant de considérer le graphisme comme une forme dynamique et d'analyser précisément ses aspects dynamiques et formels, il est nécessaire d'apporter des précisions sur

⁶⁶ FRANCÈS, Robert, *La perception de la musique*, p. 9.

⁶⁷ AROM, Simha, *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d'Afrique centrale. Structure et méthodologie*, Vol. I, Paris, Sela, 1985, p. 257.

l'activité de représentation graphique, sur les modes de représentation des connaissances, et sur le mouvement graphique, caractéristique essentielle de cette activité de motricité fine.

3.3.1 Activité de représentation graphique

L'étymologie indo-européenne du terme « graphie »⁶⁸ remonte à une racine *gerbh* qui signifie coupé, entaillé. Outre le *graphein* grec, dessiner, écrire, on peut l'apparenter au german *krattôn* qui signifie gratter.

« L'activité graphique englobe l'ensemble des actions manuelles qui consistent à produire des tracés avec ou sans crayon, soit le dessin, la peinture et l'écriture. »⁶⁹

C. Reyt présente l'activité graphique⁷⁰ avec le rapport à l'outil, le geste, et la relation à la surface, le trajet du geste. On peut analyser le geste (rapidité, force, qualité, déplacements), l'outil et ses variables, la qualité du médium, la trace, le support (orientation, manipulation, taille, remplissage total ou partiel). La posture de base est une position d'équilibre, assise, avec des points d'appui extérieurs (pieds, fesses, avant-bras). Concernant le geste et l'outil, trois types de gestes sont simultanés : la préhension de l'outil, la production de la trace, directement tributaire de l'outil et du médium, et la conduite de la trace qui construit le trajet ou la forme. Les deux premiers sont obligés et conditionnés par le matériel, le troisième est volontaire, lié à la décision de l'action.

3.3.1.1 La représentation

Empruntée du latin *repraesentatio*, *-onis* « Action de mettre sous les yeux », la représentation est l'« action de rendre sensible quelque chose au moyen d'une figure, d'un symbole, d'un signe »⁷¹. L'une des difficultés à définir cette notion est que l'on distingue mal sa nature de sa fonction : elle peut à la fois désigner une idée que l'on se fait sur le monde et exprimer le fait de communiquer cette idée. Les conceptions de la représentation symbolique⁷² de N. Goodman situent la dénotation au cœur de la représentation. La représentation n'est pas affaire d'imitation. Elle est indépendante de la ressemblance qui n'est

⁶⁸ DARRAS, Bernard et KINDLER, Anna M., « L'entrée dans la graphosphère : les icônes de gestes et de traces. Approche sémiotique et cognitive. », *Médiation et Information*, n°6, 1997, p. 101.

⁶⁹ PAOLETTI, René, *Education et Motricité, L'enfant, de 2 à 8 ans*, Gaëtan Marin Editeur, 1999, p. 105.

⁷⁰ REYT, Claude, *Les activités plastiques*, Paris, Armand Colin, 1987/1992.

⁷¹ Dictionnaire Larousse.

⁷² On se réfère à ses travaux sur la nature des langages artistiques, sur les différences entre les langages et les systèmes symboliques non linguistiques ainsi que sur les traits notationnels qui distinguent les systèmes notationnels des autres langages.

nullement nécessaire pour la référence : presque tout peut valoir pour presque n'importe quoi d'autre.

« Il ne s'agit pas de copier mais de faire comprendre. Il s'agit plus de 'saisir une ressemblance' que de reproduire. »⁷³

Une image, pour représenter un objet, doit en être le symbole, valoir pour lui, y faire référence. Être fidèle, pour une image, signifie que l'objet représenté possède les propriétés que l'image lui attribue en substance. Représenter consiste donc à classer les objets plutôt qu'à les imiter, à les caractériser plutôt qu'à les copier. La représentation ou la description implique donc une idée d'organisation qui, réciproquement, l'implique souvent. Elles réclament l'invention, sont créatrices et s'informent mutuellement. En vertu de la manière dont elles classent et sont classées, elles peuvent créer ou indiquer des connexions, analyser des objets, organiser le monde. Elles forment, rattachent et distinguent les objets. Il n'est pas question d'enregistrer passivement. L'objet ne pose pas tel un modèle, avec des attributs nettement séparés et bien mis en évidence. Il existe parmi d'autres, innombrables, et peut donner lieu à autant de classements différents qu'on peut y discerner d'attributs. De plus, l'objet n'est pas quelque chose de tout fait mais résulte d'une manière d'aborder le monde. L'objet et ses aspects dépendent de l'organisation dont les outils sont des étiquettes de toutes sortes qui associent entre eux des objets auxquels elles s'appliquent. La représentation par les symboles nécessite un effort, un choix, une réelle interprétation.

3.3.1.2 Modes enactif, iconique, symbolique de représentation des connaissances

Dans sa théorie socio-constructiviste du développement infantile⁷⁴, J. S. Bruner suppose que l'essentiel de la croissance cognitive peut être analysée suivant la façon dont les êtres humains apprennent graduellement à se représenter le monde dans lequel ils opèrent. Trois modes de représentation apparaissent comme trois paliers successifs au cours des premières années. La représentation *enactive* ou active⁷⁵ est liée à l'action et à la manipulation d'objets. Elle existe au cours même de l'action et grâce à son exercice, quand celle-ci n'est pas quelconque ou improvisée mais déjà construite sous forme de schèmes sensori-moteurs⁷⁶. L'action est utilisée comme véhicule de représentation, sa fonction étant de simuler le réel. La

⁷³ GOODMAN, Nelson, *Langages de l'art. Une approche de la théorie des symboles*, Nîmes, Ed. Jacqueline Chambon, 1968, trad. française en 1990, p. 42.

⁷⁴ BRUNER, Jerome S., "On Cognitive Growth", *Studies in Cognitive Growth*, ed. Jerome S. Bruner, New-York, Wiley, 1966, p. 1-67.

⁷⁵ Traduction de '*enactive*' par Vurpillot (1972), Blanc-Garin (1974), Archambaud (1975), in GALIFRET-GRANJON, Nadine, *Naissance et évolution de la représentation chez l'enfant*, Paris, PUF, 1981, p. 264.

⁷⁶ *I.e.* sous forme d'habitudes motrices qui se déclenchent à partir de certaines stimulations reconnues.

représentation iconique⁷⁷ émerge lorsque l'enfant est capable de représenter le monde par une image ou un schéma partiel qui est relativement indépendant de l'action. Elle a les propriétés d'un médiateur ; c'est un analogue sélectif de ce qu'elle représente. Enfin, la représentation symbolique⁷⁸ est le système le plus abstrait. Il s'acquiert avec le langage qui traduit en termes discrets ce qui était représenté auparavant par l'image. Les symboles sont déconnectés et arbitraires, sans rapport, sinon conventionnel, avec le signifié. Chacun de ces systèmes de représentation peut avoir un rôle spécifique, assurer des fonctions diverses et rendre des services différents. Ils sont parallèles mais en interaction, susceptibles de traduction au moins partielle les uns par les autres, et coexistent chez l'adulte.

La représentation graphique par l'action est une forme non discursive d'expression qui est un moyen important d'établir des connexions cognitives, motrices et émotionnelles. La connaissance est considérée comme incarnée, avec une relation étroite entre les gestes de la main, la pensée et la communication. J. S. Bruner soutient que les individus '*perfinck*'⁷⁹ : ils perçoivent, sentent et pensent tout à la fois et agissent dans les limites de ce qu'ils *perfinck*.

3.3.2 Mouvement graphique

Le mouvement est central dans la production graphique. Il est considéré comme une habileté manuelle produite avec intentionnalité. Ce mouvement corporel est contraint par le plan en deux dimensions. Le mouvement graphique est le processus de production du graphisme ; il est résiduel dans le produit fini. La trajectoire qu'il décrit évolue dans l'espace et le temps avec une dynamique et une forme qui toutes deux contiennent une information temporelle. On distingue le traçage⁸⁰, représentation dynamique de la forme graphique, et la trace⁸¹, projection statique du mouvement corporel dans le graphisme et dont la forme contient une information dynamique partielle et résiduelle du mouvement graphique.

L'étude de sa production lors de l'écoute musicale nécessite une analyse préalable de la boucle rétroactive perception-action et des relations qu'il entretient avec la pensée. Dans la limite des méthodes de description du geste, on tentera ensuite de décrire les caractéristiques propres à ce mouvement à l'aide d'une classification des mouvements humains et d'une typologie des mouvements manuels. Ces éléments généraux permettront la présentation ultérieure des qualités dynamiques et formelles du graphisme.

⁷⁷ '*iconic*'.

⁷⁸ '*symbolic*'.

⁷⁹ Contraction de *perceive, feel et think*. BRUNER, Jerome S., *Culture et modes de pensée, L'esprit humain dans ses œuvres*, Paris, Retz, 2000, p. 90.

⁸⁰ « Action de tracer », Cnrtl, Centre national de ressources textuelles et lexicales, CNRS atilf.

⁸¹ « Marque laissée par une action quelconque », *Ibidem*.

3.3.2.1 Percevoir et produire le mouvement : boucle rétroactive perception-action

Les liens étroits entre perception et action font l'objet de nombreuses recherches. A. Berthoz postule un sixième sens, le sens du mouvement ou « kinesthésie », dans une conception qui met l'action à l'origine de la perception.

« Nous insisterons sur des sens très mal connus : la proprioception musculaire et le système vestibulaire. Aux cinq sens traditionnels – le toucher, la vision, l'audition, le goût, l'odorat –, il faut en effet ajouter le sens du mouvement ou 'kinesthésie'. Son originalité est de mettre à contribution plusieurs capteurs. »⁸²

Trois grandes modalités sensorielles participent à la saisie et au traitement des informations de mouvement : la vision, la proprioception et le système vestibulaire⁸³. Dans chacune de ces modalités, on distingue des sous-systèmes spécialisés dans le traitement d'une classe d'information.

L'exécution de mouvements par l'organisme implique une sélection des informations en fonction des intentions. Elle a des effets en retour sur ces traitements perceptifs : il s'agit d'un système dynamique et polyvalent. Les traitements « purement » perceptifs et les traitements des informations perceptives pour l'action ne mobilisent pas les mêmes mécanismes cérébraux. Cette séparation fonctionnelle implique des traitements parallèles et doit conduire à reconsidérer le rôle des traitements perceptifs dans le guidage et le contrôle des actions motrices.

Le mouvement s'organise autour de deux référentiels distincts⁸⁴ : un référentiel exocentré, fondé sur l'extérieur, sorte de collection de cartes de l'environnement, et un référentiel égocentré, organisé à partir du corps. Le premier sert à situer l'environnement et à se situer par rapport à lui, le second, à se situer dans son propre corps et à situer l'environnement par rapport à son corps. Toute action en relation avec l'environnement nécessite une articulation entre l'espace du corps et l'espace extérieur. Le corps en action est un lien entre espace interne et espace externe. Les propriétés de l'« espace vital » règlent nos mouvements. Tout espace habité, et donc tout espace vital ou espace de mouvements, a des directions et des orientations.

⁸² BERTHOZ, Alain, *Le sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob, 1997, p. 31.

⁸³ D'autres modalités sensorielles extéroceptives comme l'audition ou l'olfaction, sans être exclues, jouent un rôle de moindre importance, limité essentiellement à l'alerte et à la localisation spatiale. BONNET, Claude et LESTIENNE, Francis, *Percevoir et produire le mouvement*, Paris, A. Colin, 2003, p. 12.

⁸⁴ BERGER, Eve, *Le mouvement dans tous ses états, Les recherches de Danis Bois*, Paris, Point d'appui, 1999, p. 72.

Les relations entre mouvement et pensée ont été bien documentées pendant des décennies. Certains courants actuels des sciences cognitives distinguent⁸⁵ deux grands niveaux de fonctionnement⁸⁶ chez l'être humain⁸⁷. Le premier niveau est celui des processus sensori-moteurs qui sont engagés, par l'intermédiaire des récepteurs sensoriels et des effecteurs musculaires, dans les interactions avec le monde physique et qui assurent le contrôle des mouvements finalisés. Ce contrôle implique des boucles de rétroaction⁸⁸ alimentées par de très nombreuses informations sensorielles captées par les récepteurs visuels, labyrinthiques, tendineux, articulaires, *etc.* qui indiquent l'état de l'environnement et celui du système effecteur lui-même⁸⁹. Ces représentations sensorielles du mouvement et les programmes moteurs qui assurent la génération des commandes motrices seraient construits à partir de représentations plus abstraites de l'action motrice, ou schèmes moteurs, correspondant à des catégories de mouvements⁹⁰. Ces processus de contrôle du geste peuvent fonctionner de façon automatique, sans intervention de l'attention ou prise de conscience. Le second niveau de fonctionnement est celui des processus cognitifs qui opèrent sur des représentations symboliques du monde et non sur le monde physique lui-même. Il est alimenté par les informations sensorielles mais n'est pas directement impliqué dans le contrôle du mouvement ou dans son exécution. Ces processus cognitifs sont placés en dérivation par rapport aux boucles sensori-motrices. Ces deux niveaux sont susceptibles de se modifier par l'apprentissage, l'expérience de l'individu ou l'acquisition de connaissances. La mémoire des systèmes sensori-moteurs se manifeste par des modifications adaptatives de leur propre fonctionnement, tandis que la mémoire du système cognitif concerne autant la formation de représentation symbolique que l'amélioration de leur traitement⁹¹. Des relations sont envisagées entre ces deux grands niveaux de fonctionnement qui participent à l'actualisation des comportements moteurs ou verbaux.

⁸⁵ THON, Bernard et CADOPI, Marielle, « Penser le mouvement », *Approches cognitives de la création artistique*, éd. Mario Borillo, Sprimont, Mardaga, 2005, p. 79-95.

⁸⁶ Cette dichotomie fonctionnelle est attestée par de nombreuses observations neuropsychologiques.

⁸⁷ PAILLARD, Jacques « Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l'action », *Recherche en activités physiques et sportives*, éd. M. Laurent et P. Therme, Marseille, UEREPS, 1985, p. 147-163. PAILLARD, Jacques, « Réactifs et prédictifs : deux modes de gestion de la motricité », *Pratiques sportives et modélisation du geste*, éd. V. Nougier et J. P. Bianqui, Grenoble, Sciences, 1990, p. 13-56.

⁸⁸ Ces boucles de contrôle permettent la comparaison entre les informations sensorielles attendues et les informations réellement reçues.

⁸⁹ BERTHOZ, Alain, « La coopération des sens et du regard dans la perception du mouvement », *Le corps en jeu*, éd. O. Alan, Paris, CNRS Edition, 1993, p. 17-25. BERTHOZ, Alain, « Neural basis of decision in perception and in the control of movement », *Neurobiology of decision making*, ed. A. R. Damasio *et al.* Berlin, Springer Verlag, 1996, p. 83-100.

⁹⁰ SCHMIDT, Richard A., « A schema theory of discrete motor skill learning », *Psychological Review*, 82, 1975, p. 225-260.

⁹¹ PAILLARD, Jacques, « Réactifs et prédictifs : deux modes de gestion de la motricité », *op. cit.*

Pensée et mouvement entretiennent des rapports étroits

« La pensée peut s'incarner dans la motricité, et la motricité alimenter la pensée. »⁹²

Toutefois, ils ne sont pas réductibles l'un à l'autre. Le mouvement se laisse difficilement capturer par la pensée ; de même, la pensée ne peut pas toujours facilement se traduire en action motrice. La plupart des gestes de la vie quotidienne se déroulent « sans pensée », sans contrôle attentionnel et parfois sans prise de conscience. Cependant, il existe deux types de situation dans lesquelles le recours à la pensée se révèle nécessaire. C'est le cas lorsque le novice aborde les premiers stades de l'apprentissage d'une habileté motrice dans une activité donnée. Progressivement, grâce à la connaissance du résultat, les procédures motrices s'affinent, deviennent de plus en plus efficaces et s'autonomisent ; la pensée devient de moins en moins nécessaire à la production du mouvement. La pensée est sollicitée lors de tentatives de représentation imagée ou schématique d'une action motrice, dans un but d'illustration ou de transmission d'un savoir-faire. Par exemple, élaborer la représentation graphique d'une figure de danse suppose de la part du concepteur un effort cognitif pour traduire en images le mouvement qu'il sait faire ou qu'il a préalablement observé. De la même façon, celui qui tente de produire l'action correspondant à cette représentation imagée doit également s'engager dans un effort de pensée pour traduire le schéma visuellement présenté en procédures motrices. Un des défis actuels des sciences cognitives et plus particulièrement de la psychologie des neurosciences est de modéliser ces rapports entre les processus symboliques de haut niveau qui s'expriment dans la pensée et les processus sensori-moteurs qui permettent l'actualisation et le contrôle des mouvements du corps.

3.3.2.2 Classification des mouvements humains

En 1957, F. J. J. Buytendijk pose les principes d'une théorie fonctionnelle du mouvement⁹³ qui, à côté d'une description des constantes observables, fournit les hypothèses expliquant l'individualité agissante. Tout mouvement vital présente trois aspects essentiels selon lesquels il peut varier : le mode d'exécution directement observable suivant des propriétés quantitativement variables et un aspect qualitatif, la *forme* ; l'exécution concrète dans une situation donnée, qui permet de classer les mouvements d'après leur motif, leur raison ou l'occasion ; la signification, dont la compréhension suppose une saisie aussi complète que possible des circonstances, de la situation et de son histoire.

⁹² THON, Bernard et CADOPI, Marielle, « Penser le mouvement », p. 81.

⁹³ BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *Attitudes et Mouvements: étude fonctionnelle du mouvement humain*, Paris, Desclée de Brouwer, 1957.

Ces points de vue donnent lieu à un quadruple classement du mouvement⁹⁴ : empirique, établi d'après le mode d'exécution observable ; typologique, fondé sur le rapport entre forme de mouvement et personnalité du sujet ; trans-empirique, selon le rapport entre mouvement et sujet ; fonctionnel, établi sur la signification du mouvement.

- **Classement empirique**

Il peut être établi d'après divers modes d'exécution des mouvements dont les propriétés se rangent par couples d'adjectifs qualificatifs contraires⁹⁵. Certains, comme rapide-lent, semblent plutôt quantitatifs et physiques, d'autres, comme aisé-anguleux, se réfèrent à la forme globale du mouvement et peuvent être appliqués à la projection spatiale ou statique de la forme dynamique du mouvement. Les caractères observables et mesurables du mouvement ne se réduisent pas à ces caractères spatio-temporels. Tout mouvement humain ayant sa mesure temporelle propre, il faut inclure dans les propriétés quantitatives du mouvement les *forces* qui en déterminent le changement de direction et de vitesse. Cependant, la perception directe de la cause d'un mouvement demeure difficile à expliquer et, pour y parvenir,

« On se sert ordinairement de l'hypothèse d'une 'intropathie', grâce à laquelle nous éprouvons en nous-mêmes le mouvement perçu, et donc également les impulsions qui en sont l'origine. »⁹⁶

Par ce phénomène d'intropathie⁹⁷, le musicien qui écoute la musique comprend de façon dynamique les impulsions, le rapport dans la simultanéité et la succession, l'adaptation à la situation et le caractère spatio-temporel du mouvement en général. Le sens même des qualificatifs « tendu, dégagé, aisé, forcé, etc. » prend plus de relief par l'intropathie que par la contemplation désintéressée et objective d'un déplacement dans l'espace. On voit *ce que* l'homme fait mais également son intention. Le classement empirique ne se limite pas au mode spatio-temporel de l'exécution ; il tient compte des motifs déterminants, perçus comme des causes secondes du mouvement dont le sujet demeure la cause première.

- **Classement typologique**

Il est obtenu en découvrant un indice de la personnalité dans certains caractères empiriques du mouvement qui peuvent être groupés afin de manifester la forme du

⁹⁴ Les deux premiers étant plus incertains et provisoires.

⁹⁵ Rapide/lent, accéléré/ralenti, continu/discontinu, inquiet/incertain/tremblant, tendu/relâché, élastique/courant/anguleux, rythmique, etc. D'autres adjectifs de l'esthétique musicale en particulier s'ajoutent à la description du mouvement, F. J. J. Buytendijk observant que *quasi* tout ce qu'on peut dire de la composition ou de l'interprétation musicale peut s'appliquer aux mouvements humains.

⁹⁶ BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *Attitudes et Mouvements: étude fonctionnelle du mouvement humain*, p. 101.

⁹⁷ Connaissance de soi-même.

mouvement comme image du caractère⁹⁸ d'un individu ou d'un groupe déterminé. La manière d'être de l'individu détermine la forme du mouvement et la forme du mouvement détermine la manière d'être. Cette réciprocité⁹⁹ vaut sans doute pour tous les mouvements qui ne sont pas uniquement déterminés par les circonstances extérieures. Les mouvements qui laissent du jeu dans le mode d'exécution – marche, comportement et gestes de la vie quotidienne, mouvements expressifs, parole et écriture – appartiennent au domaine propre de la typologie.

- **Classement trans-empirique**

L'expérience du mouvement implique une saisie de son origine et de son rapport avec le sujet. La nécessité et la liberté¹⁰⁰ sont les notions qui expriment les modes de se savoir en situation lors de l'accomplissement d'un mouvement. Le mouvement est classé¹⁰¹ suivant le réflexe ou mouvement nécessaire et autonome ; la réaction ou mouvement nécessaire contrôlable ; le mouvement autonome disponible ; le mouvement volontaire ou libre, dont l'exécution présuppose une représentation plus ou moins précise du mouvement.

En dépit de ces tentatives de classement, la psychologie ne parvient pas à mettre en lumière les causes efficientes cachées des mouvements. Il faudrait disposer d'un système des tendances reliées à l'analyse de la manière d'être humaine et animale, et d'une théorie de la conscience de la volonté reliant concrètement entre elles motivation, intention et exécution.

- **Classement fonctionnel**

Il ramène à la réalité concrète de l'homme qui se meut en une situation et à un moment déterminés de son histoire. Selon leur signification propre, les mouvements se partagent en actions transitives, en mouvements expressifs et en mouvements représentatifs. Les actions transitives¹⁰² sont des mouvements spontanés. Ces réactions motrices ont un but, un point d'aboutissement que nous percevons et qui est la source de leur signification. L'action a un devenir. On peut supputer le temps nécessaire à son accomplissement et lui assigner des limites précises dans le temps. Elle peut être rapide ou lente sans que sa signification fonctionnelle change. Quant aux mouvements expressifs, ils existent suivant trois formes fondamentales d'expressions¹⁰³ : les expressions kinétiques ont des ressemblances avec les réflexes, les réactions ou les actions ; les expressions statiques, avec les situations physiologiques ou les attitudes fonctionnelles ; les formes tertiaires caractérisées par l'intervention d'une intention consciente – formes symboliques, pantomimes, gestes,

⁹⁸ Le caractère peut se définir avec plus de certitude si nous parvenons à retrouver les mêmes caractères dans les formes de tous les mouvements exécutés par une même personne.

⁹⁹ Sur laquelle se fondent la graphologie et la physiognomonie dont les définitions typologiques sont incertaines.

¹⁰⁰ « La liberté est toujours située et incarnée. » A. Dondeyne, in BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *Ibidem*, p. 112.

¹⁰¹ Par Homburger et par Grünbaum, *ibid.*, p. 110-111.

¹⁰² L'action transitive est celle qui modifie un être autre que l'agent.

¹⁰³ BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *ibid.*, p. 297.

mouvements stylisés, danse, rites de la mode, imitations. Tous ces mouvements ont une signification immanente et ne sont pas finalisés. L'expression naît, grandit et s'éteint, parcourt les stades de différenciation, sans aucune distance temporelle. Elle n'est pas dans le temps mais la temporalité est englobée dans sa fonction même. La durée du rire ou du chagrin en modifie la structure expressive. Pour l'expression, le temps définit une valeur qualitative. La durée du mouvement expressif est intérieurement vécue et cette conscience indivisible de durée est un élément essentiel de la signification du sentiment exprimé. Tous les mouvements intérieurs, émotions, intentions et représentations, sont d'une mobilité extrême¹⁰⁴. L'expression, significative en elle-même, est reliée à notre manière d'être-au-monde. Nous pouvons percevoir la situation d'un autre sujet dans ses mouvements expressifs, sa mimique, son attitude, son regard. Ces mouvements ineffectifs, parfois même inopportuns, ont un sens en tant que révélation d'une situation. Enfin, les mouvements représentatifs sont spécifiquement humains. Ils forment un groupe assez restreint qui comprend les gestes, la parole ou le langage dérivé – symboles ou écritures, la danse, le dessin, *etc.* Bien que non finalisés, ils sont intentionnels car ils renvoient à un sens indépendant, à une réalité distincte du mouvement et qui n'est pas son objet immédiat.

3.3.2.3 Typologie des mouvements manuels

La description du geste humain contient des limites d'information. Toute méthode de description, aussi rigoureuse soit-elle, ne peut rendre compte que d'une partie de la réalité. A ce propos, B. Bril précise qu'

« aussi fin que soit le mode de description retenu, il est impossible de travailler sur la 'totalité' de l'information. [...] Il n'existe donc probablement pas de méthode optimale générale de description du geste. »¹⁰⁵

Concernant le mouvement graphique, on constate effectivement qu'il existe de fréquents décalages entre mouvement dans l'espace et graphisme qui proviennent de divers facteurs¹⁰⁶. Le mouvement dans l'espace est tridimensionnel et échappe au contrôle par sa fugacité. Le graphisme est bidimensionnel et requiert un intermédiaire, un outil, et une résistance, un plan. Il engendre une raideur dans les mouvements rapides, énergiques ou

¹⁰⁴ Pour que l'instrument expressif puisse se mouvoir très rapidement, il doit être composé de muscles striés. Il faut en outre que la contraction dépende à tout moment de l'innervation, sinon le lien entre l'expression et la vie intérieure serait rompue.

¹⁰⁵ Elle a notamment analysé le pilage du mil avec le mouvement de percussion perpendiculaire lancée. BRIL, Blandine, « Description du geste technique : quelles méthodes ? », *Techniques & Culture*, 3, 1984, p. 81-96, in *Techniques & Culture*, 54-55, 2010, p. 246, <http://tc.revues.org/1006>, le 20/06/2014.

¹⁰⁶ JUHEL, Françoise (dir.), *Dictionnaire de l'image*, Paris, Vuibert, 2008.

contrastés (changement de rythme, de direction, *etc.*). Ce tracé tangible accentue ou précise des aspects du mouvement. Ces limites étant posées, deux outils d'analyse permettent de préciser certaines caractéristiques du mouvement graphique : les classements¹⁰⁷ empirique et fonctionnel et un essai de classification des mouvements manuels¹⁰⁸. Suivant le classement empirique, l'analyse concerne les caractères observables et mesurables du mouvement graphique, avec d'une part, la description des caractères spatio-temporels du mouvement (description quantitative et physique des aspects dynamiques avec les propriétés de direction et de vitesse et description de la forme globale du mouvement) et d'autre part, la description des causes du mouvement (des forces qui déterminent les changements de direction et de vitesse). Le classement fonctionnel est intéressant pour l'analyse de la signification et de l'expressivité du mouvement graphique. La description de la relation du mouvement au sujet et à la situation relève du domaine de la signification.

Suivant une classification des mouvements manuels, le mouvement graphique présente les caractéristiques suivantes :

- Mouvements typiques : glisser, toucher, frotter, taper, tourner
- Participation de la main dans l'exercice
- Modalité de déclenchement : réactif, c'est-à-dire impliquant un mobile extérieur
- Quantité : mouvements singuliers
- Forme
 - simple
 - rectiligne : vertical (taper/frapper) et horizontal (glisser/toucher/frotter)
 - circulaire : courbe (tourner, courber)
 - composée ou combinée :
 - courbe, tortueux
 - onduleux
- Forme des mouvements successifs : identité / variabilité
- Energie déployée : mouvements faibles/forts
- Emploi de l'outil : mouvements indirects
- Temps employé
 - durée : mouvements courts/prolongés
 - vitesse d'exécution : mouvements vifs/lents
- Modes de succession : série de mouvements
 - à intervalle indéterminé : irréguliers

¹⁰⁷ Les classements typologique et trans-empirique étant plus incertains et provisoires.

¹⁰⁸ BAUMGARTEN, Franziska, « Classification des mouvements manuels d'après l'habileté », *L'année psychologique*, 36-1, 1935, p. 157-161.

- à intervalle déterminé : réguliers, monotones, saccadés, rythmiques, périodiques
- Espace nécessaire
 - petit : mouvements concentrés
 - considérable : mouvements débordés, extenseurs, flottants
- Participation des sens : vue, ouïe, toucher
- Effort particulier de :
 - l'intelligence (compréhension des situations)
 - l'attention (mouvement précis)
 - la volonté (mouvement maîtrisé/emporté)
- Adaptation du mouvement à la vue :
 - mouvements non-coordonnés : non-correspondance des formes motrices et optiques
 - mouvements coordonnés : harmonie des deux formes

3.3.3 Le graphisme comme forme dynamique

Les aspects formels et dynamiques du graphisme peuvent être précisés avec les aspects formels de son mouvement et les aspects dynamiques de ses formes.

3.3.3.1 Forme de la dynamique graphique

Dynamique graphique

Le mouvement graphique peut être analysé sur un plan cinématique. Il apparaît visuellement comme le déplacement de la pointe du stylo dans l'espace et le temps, l'espace étant restreint à deux dimensions. Le contact du stylo sur le plan décrit une trajectoire, *i.e.* une courbe décrite par l'objet en mouvement, dont on peut analyser les éléments de forme, la fréquence d'oscillation, la direction, la taille, la forme et calculer la vitesse de déplacement. La vitesse est un élément dynamique abstrait du mouvement graphique. Elle revient à la vitesse de la main qui le dirige et peut être estimée de quelques centimètres à plusieurs mètres par seconde¹⁰⁹. On peut mesurer le profil de vélocité du mouvement, le profil de pression (frottements) et l'angle du stylo par rapport au plan.

La notion de couplage spatio-temporel dans l'activité graphique est illustrée par les travaux de P. Viviani *et al.* sur les mouvements dessinés¹¹⁰, plus précisément sur les

¹⁰⁹ Le mouvement étant assez peu freiné du fait de la faible inertie de la main, des vitesses de l'ordre de dix mètres par seconde sont possibles.

¹¹⁰ VIVIANI, Paolo, "Motor-perceptual interactions: The evolution of an idea.", *Golem Monograph Series 1: Cognitive Sciences in Europe. Issues and Trends*, ed. M. Piattelli-Palmarini, 1990, p. 11-39. VIVIANI, Paolo and SCHNEIDER, Roland, "A developmental study of the relationship between geometry and kinematics in

contraintes qui lient la géométrie et la cinématique des mouvements guidés de la main. L'étude des mouvements qui impliquent le tracé d'ellipses ou de trajectoires curvilignes complexes montre qu'à l'intérieur d'un mouvement unique et cohérent, la vitesse varie en fonction de la courbure de la trajectoire : plus la courbure locale est grande, plus le mouvement est lent¹¹¹. P. Viviani et N. Stucchi montrent que des stimuli visuels dynamiques dont la vitesse change dans la courbure sont jugés par les observateurs comme représentant une vitesse constante, tandis que des stimuli elliptiques de vitesse réelle constante leur semblent varier en vitesse¹¹².

Dans un champ totalement différent, l'importance de l'élément temporel dans le processus dynamique de production plastique est illustrée par deux formes artistiques. La calligraphie chinoise constitue une tentative de fixer sur une feuille de papier le mouvement créateur qui revêt ainsi plus d'importance que la forme elle-même. L'*action painting*¹¹³, peinture gestuelle¹¹⁴, apparaît en Occident au lendemain de la deuxième guerre mondiale et propose une conception picturale radicalement nouvelle¹¹⁵, avec une peinture de pur dynamisme abstrait. Le terme « *action* » s'oppose à toute notion de représentation, de figuration, d'objet ou d'image ; il met l'accent sur l'acte de peindre et non sur le produit fini. L'acte n'a comme but que lui-même, l'œuvre n'étant qu'un témoin résiduel dont la valeur est celle d'un produit secondaire, dérivé, accessoire. Le peintre d'action ne se définit ni en fonction de ce qu'il pense, ni en fonction du fait qu'il pense. Il s'identifie au fait qu'il agit. C'est le cas de J. Pollock dont les tableaux peuvent être considérés et perçus comme l'ensemble des traces des mouvements de l'artiste au-dessus de la toile. Ils sont l'exemple le plus démonstratif de recherche de pulsation motrice en rapport avec la pensée.

drawing movements'', *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(1), 1991, p. 198-298.

¹¹¹ Les sujets sont incapables de tracer une ellipse en suivant précisément un point lumineux bougeant à vitesse constante. La tâche est facilitée quand la vitesse change suivant la courbure.

¹¹² VIVIANI, Paolo and STUCCHI, Natale, "Biological Movements look uniform: Evidence of motorperceptual interactions'', *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 1992, p. 603-623.

¹¹³ Le terme *action painting* a été inventé pour l'œuvre de Jackson Pollock (1912-1956) considéré comme le fondateur de ce mouvement.

¹¹⁴ ROWELL, Margit, *La peinture, le geste, l'action*, Paris, Klincksieck, 1972.

¹¹⁵ Cette nouvelle définition de la peinture ne naît pas tout d'une pièce. Pour V. Kandinsky, l'objet ne compte plus à partir de 1911, l'art étant la transcription d'une nécessité intérieure, voire d'un état spirituel du créateur ; l'œuvre et la pensée de P. Klee rappellent dès 1920 que la création est genèse, « formation », mouvement, énergie, devenir ; dès 1927, les tableaux d'H. Hartung, sont gestuels dans le plein sens du terme ; dans le surréalisme, les expériences dans le domaine de l'écriture automatique débouchent très précisément sur une peinture à base d'écriture spontanée.

Forme du mouvement

F. J. J. Buytendijk considère que tout comportement est une forme et que le mouvement corporel est une forme dynamique ou temporelle. Il obéit aux lois de la forme avec la priorité de l'ensemble et la détermination réciproque du tout et des parties¹¹⁶. Tout mouvement se déroule comme une forme. Il a une unité globale avec les mêmes propriétés que toutes les autres formes vivantes. On peut l'interroger sur ses propriétés de différenciation, de détermination réciproque entre le tout et les parties, de similitude et de genèse formelle. Le saut, le lancement, et surtout les mouvements plus différenciés comme l'écriture ou la parole ont des facteurs dominants et sont définissables par la stabilité de leur organisation. Même la loi de prégnance vaut pour ces mouvements. Le mouvement physique est une forme dynamique dans laquelle la phase déjà parcourue contient l'indication de ce qui doit suivre. Von Weizsäcker étudie le lien entre la forme et le temps et constate qu'en explorant au toucher un objet, nous formons *en même temps* l'impression organisée et le mouvement organisé. L'impression sensible détermine la *forme* du mouvement, et le mouvement détermine la *forme* de l'image tactile. Il conclut que

« l'interaction entre l'organisme et le milieu élimine une conception de causalité à sens unique »¹¹⁷.

Il définit la genèse des formes du mouvement comme celle d'une « forme se constituant en circuit » ou comme un « cycle sensori-moteur ». Lors de la genèse d'une figure, la forme du mouvement est liée à une temporalité déterminée. Il existe un lien fonctionnel entre la durée et la forme du mouvement. On ne peut faire varier indépendamment la vitesse et la forme : l'accroissement de la vitesse entraîne un changement de forme et *vice versa*. La forme d'un mouvement de locomotion ne peut donc s'expliquer ni par la succession des phases ni par le lien causal. Le mouvement constitue lui-même un rapport à l'espace et au temps :

« Le mouvement de l'organisme ne se déplace pas dans l'espace et le temps, mais l'organisme déplace l'espace avec le temps. »¹¹⁸

Les mouvements corporels peuvent être intériorisés comme des formes temporelles abstraites.

« Abstraites à partir de leurs manifestations corporelles concrètes et spécifiques, les formes temporelles des cycles de mouvements ne sont pas de simples séries délimitant des durées ;

¹¹⁶ Les relations entre le tout et les parties sont les mêmes pour le mouvement, pour les formes optiques ou acoustiques.

¹¹⁷ Von Weizsäcker in BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *Attitudes et Mouvements: étude fonctionnelle du mouvement humain*, p. 92.

¹¹⁸ Traduction de l'auteure. « *Die Bewegung des Organismus bewegt sich nicht in Raum und Zeit, sondern der Organismus bewegt den Raum mit der Zeit.* », *ibidem*, p. 94.

elles sont des suites d'accélération, de vitesse, et des flux et reflux d'énergie dans un tempo donné. »¹¹⁹

Notre conscience appréhende ces formes complexes non comme des structures articulées mais comme des unités remplies de sentiment ou de caractère. Elles peuvent se traduire presque littéralement d'un geste ou d'une façon intuitive en musique. Si l'on peut considérer tout mouvement comme une forme qui peut être observée objectivement, seul le mouvement vécu dans son accomplissement révèle le cours des impulsions, les accents dynamiques, les moments essentiels et les aspects accessoires, la signification et le caractère expressif. Les mouvements fonctionnels, les comportements, sont plus que des formes : l'on perçoit dans le comportement humain une signification. F. J. J. Buytendijk considère que

« Le sujet avec ses besoins et tendances, ses intentions, ses décisions et ses motifs, avec son monde *propre* et son corps *propre*, est absent de la théorie de la forme. »¹²⁰

Il précise que la psychologie de la forme peut rendre compte du phénomène sensori-moteur, non du phénomène « tâche-engagement-accomplissement ».

3.3.3.2 Dynamique de la forme graphique

On distingue deux grands types d'images graphiques : celles relevant de la graphique, du domaine de la géographie, et celles appartenant au monde plus général du graphisme, *i.e.* les images issues des arts plastiques, dont l'éventail des dispositifs est plus large et qui ne possède pas de codification a priori. Ces deux types renvoient respectivement à deux approches complémentaires, la sémiologie et la sémiotique, qui permettent d'identifier des éléments graphiques formels et dynamiques.

La sémiologie graphique synthétise les règles de la graphique destinées à la communication et au traitement d'une information. J. Bertin propose la définition suivante :

« La représentation graphique est la transcription, dans le système graphique de signes, d'une pensée, d'une 'information' connue par l'intermédiaire d'un système de signes quelconque. La représentation graphique est une partie de la sémiologie, science qui traite de tous les systèmes de signes. »¹²¹

Les représentations temporelles dynamiques du graphisme sont exclues de ce corpus. De nouvelles technologies permettent aujourd'hui d'inscrire le mouvement graphique et

¹¹⁹ LIDOV, David, « La mesure musicale. Mesure de notation et mesure d'audition », *Les Universaux en musique*, Actes du 4^e Congrès international sur la signification musicale, éd. Costin Miereanu et Xavier Hascher, 1992, p. 632.

¹²⁰ *Ibid.*, p. 74.

¹²¹ BERTIN, Jacques, *Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes...*, Paris, Gauthier-Villars, 1964, p. 8.

d'intégrer ces données¹²². Le code graphique, *i.e.* la description graphique des objets, se limite à trois modes d'implantation : le point, la ligne et la zone¹²³. Le point¹²⁴ est une abstraction, un lieu du plan sans aucune surface. Toutefois, pour être visible, il a nécessairement une certaine emprise graphique purement conventionnelle. Seul son centre a une signification positionnelle. Élément de la fixité, son intérêt graphique essentiel est l'isolement permanent et définitif dans la surface. En effet, qu'ils soient nombreux ou de différentes tailles, les points restent sans relation graphique ni avec l'espace qui les sépare, ni entre eux. C'est pourquoi la signification attribuée au point ne concerne que celui-ci. La valeur « totalitaire » de l'expression ponctuelle supprime toute notion de mouvement. La ligne¹²⁵ est constituée par la trajectoire qui réunit deux points, ou encore par celle laissée par un point en déplacement. Elle est par essence dynamique car elle est psychologiquement orientée, et implique la notion de durée. La ligne courbe représente la durée et le mouvement, la ligne droite définit un espace immobile. Elle peut représenter la trajectoire d'un mobile.

La sémiotique graphique permet de considérer des données dynamiques concernant ces deux éléments formels, point et ligne, cette fois dans les arts graphiques. V. Kandinsky¹²⁶ précise que le point est l'élément premier de l'art graphique. Par le choc, il est le résultat de la première rencontre de l'outil avec la surface matérielle, le plan originel. Il est l'affirmation la plus concise et permanente qui se produit brièvement, fermement et vite. La stabilité du point réduit au minimum le temps nécessaire à sa perception de sorte que l'élément temps en est presque exclu :

« Le point est la forme temporelle la plus concise. »¹²⁷

La ligne géométrique est la trace du point en mouvement, donc son produit. Elle est née du mouvement :

« Ici se produit le bond du statique vers le dynamique. »¹²⁸

Les éléments de la peinture sont des résultats réels du mouvement comme tension et comme direction. Le point ne possède qu'une seule tension et ne peut avoir de direction, tandis que la ligne possède tension et direction. La ligne droite est une première espèce de

¹²² Essai de révision des travaux de J. Bertin par DENEGRÉ, Jean, *Sémiologie et conception cartographique*, Paris, Hermès, 2005.

¹²³ Elle n'est pas considérée ici car n'implique pas de données temporelles dynamiques.

¹²⁴ *Ibidem*, p. 42.

¹²⁵ DENEGRÉ, Jean, *Sémiologie et conception cartographique*, p. 46.

¹²⁶ KANDINSKY, Vassily, *Point et ligne sur plan. Contribution à l'analyse des éléments de la peinture*, Paris, Gallimard, 1991.

¹²⁷ *Ibidem*, p. 37.

¹²⁸ *Ibid*, p. 67.

ligne qui se crée quand une force venant de l'extérieur fait mouvoir le point dans une direction déterminée. Elle maintient la direction prise, avec une tendance à continuer tout droit vers l'infini. Elle présente dans sa tension la forme la plus concise de l'infinité des possibilités de mouvement. La ligne brisée émane de deux forces alternantes alors que la ligne courbe résulte de deux forces simultanées. L'élément temporel est en général plus perceptible dans la ligne que dans le point, la longueur correspondant à une notion de durée. Suivre une ligne droite ou suivre une ligne courbe demande une durée différente, même si leur longueur est identique : plus une ligne courbe est mouvementée, plus elle s'allonge en durée. Intégrant le paramètre du temps, la ligne offre une grande diversité d'expression.

3.4 Appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques

Après avoir envisagé indépendamment le rythme et le graphisme comme des formes dynamiques, on s'intéresse à leur appariement potentiel sur la base de propriétés communes transférées via des modalités distinctes, auditives et motrices. Les recherches suivantes posent deux hypothèses théoriques concernant les relations entre le mouvement corporel et la musique : le mouvement est une propriété formelle de l'élément musical ; les significations musicales peuvent trouver leur fondement dans un vécu corporel et kinesthésique accessible à chacun et partagé par tous. Elles soulignent l'intérêt voire la nécessité de cet appariement audio-moteur, le mouvement étant un outil fondamental dans l'appropriation du sens musical.

3.4.1 Médiation des formes musicales par le geste

Selon M. Imberty, le geste et le mouvement seraient en grande partie à l'origine de la représentation mentale de la musique, une représentation de nature dynamique :

« Ce lien entre le mouvement et le geste évoqués ou parfois effectués en accompagnement de la musique, et la forme musicale elle-même peut être compris comme une 'projection' du corps dans cette forme telle que la pensée et la sensibilité de l'auditeur comme du compositeur s'y expriment à travers ces gestes virtuels et ces évocations des sensations neuromusculaires intéroceptives. »¹²⁹

¹²⁹ IMBERTY, Michel, « Introduction », *Temps, geste et musicalité*, éd. IMBERTY, Michel et GRATIER, Maya, p. 11.

Il existerait une compétence particulière de l'espèce humaine qui rendrait compte de cette médiation interne subjective des formes musicales par le geste, dont l'invention serait ensuite modulée par les codes, les styles, les civilisations.

« Ainsi, le geste est-il bien psychologiquement l'élément structurant fondamental de la forme musicale : énergie déployée dans une trajectoire temporelle orientée, cosubstantielle à l'expérience intérieure vécue et sans laquelle le sujet ne pourrait sans doute s'en approprier le sens, le geste constitue le ressort psychologique essentiel de toute la pensée musicale. »¹³⁰

Le psychologue incite à prendre en considération cette dimension fondamentale de l'expérience musicale afin de rendre compte du temps comme substance de la forme musicale.

3.4.2 Catégories générales de mouvement et propriétés formelles musicales

J. Viret s'intéresse aux modalités selon lesquelles s'opère le *mouvement* des sons et qui contribuent dans une large mesure à déterminer la signification musicale. On trouve des catégories générales du mouvement comme propriétés formelles de l'être musical : ces types structuraux sont des schèmes moteurs, reliés à des *actes vitaux* dont ils dérivent plus ou moins directement à travers la stylisation musicale qui leur est appliquée.

Schèmes moteurs	Structuration	Propriétés musicales ¹³¹ formelles
Marche : avance rectiligne, périodicité binaire	Linéaire	Simple progression
Danse : rotation, périodicité ternaire	Cyclique	Périodicité, répétitivité à l'échelle de petites unités
Paroles : types de dynamiques, accents	Dynamique	Schéma ternaire : élan-accent-retombée
Tension - Détente corporelle : élan qui précède l'accent, pôle de tension, et retombée qui marque la détente	Cyclique/Dynamique	Réitération régulière du schéma ternaire : élans-accents-retombées

Tableau 20: Association schèmes moteurs et propriétés formelles musicales selon J. Viret

Grâce à ces implications motrices, on passe du plan de la structure à celui de la signification : ainsi, un rythme pourra suggérer une marche, un autre, une danse, un autre, une succession de tensions et de détentes. Ces schèmes généraux sont susceptibles de se

¹³⁰ IMBERTY, Michel, « Quel sens et quelle portée donner aux recherches en psychologie cognitive à propos de la musique ? », *Observation, analyse, modèle : peut-on parler d'art avec les outils de la science ?*, Actes du 2^e colloque international d'épistémologie musicale, Textes réunis par Jean-Marc Chauvel et Fabien Lévy, Paris, L'Harmattan, Ircam/Centre Georges-Pompidou, 2002, p. 387.

¹³¹ Ces types structuraux simples sont susceptibles de se combiner par juxtaposition ou par superposition pour engendrer des formes complexes. VIRET, Jacques, « Entre sujet et objet. L'herméneutique musicale comme méthodologie de l'écoute », *Approches herméneutiques de la musique*, éd. Jacques Viret, Presses Universitaires de Strasbourg, 2001, p. 291.

diversifier eux-mêmes selon un large éventail de caractères expressifs (*i.e.* lent : calme ou triste ; rapide : joyeux ou agité).

3.4.3 Unités Sémiotiques Temporelles et figures temporelles corporelles graphiques

Correspondances UST-mouvements corporels

Dans une approche biosémiotique¹³², M. Timsit-Berthier cherche à préciser les correspondances entre UST et mouvements corporels. Elle met en relation le concept d'UST avec des concepts issus de la psychophysiologie des mouvements, prenant appui sur deux théories. La première approche, selon la phénoménologie du mouvement de F. J. J. Buytendijk¹³³, est centrée sur l'intentionnalité et sur le potentiel de communication du mouvement. Elle permet de distinguer deux grandes familles de mouvements fonctionnels. Les *mouvements transitifs* qui ont un dynamisme orienté vers l'extérieur, un but et une finalité, sont constitués d'une succession de phases et expriment des gestes intentionnels. Les *mouvements expressifs* sont la manifestation d'une intériorité. Leur structure temporelle est d'une seule phase et la temporalité est englobée dans la fonction même. Ces mouvements traduisent des attitudes, des postures. La seconde approche, selon la théorie de contrôle des mouvements de J. Paillard¹³⁴, s'intéresse à l'organisation psychomotrice et perceptive qui dépend de deux grands systèmes cérébraux¹³⁵. Appliquant les critères qualifiant le mouvement (transitif ou expressif et à caractère topométrique ou configural) aux UST,

¹³² « La Biosémiotique est une science descriptive et interdisciplinaire qui étudie les différentes formes de communication entre les systèmes vivants et leurs milieux naturels et sociaux. Elle postule que les processus de sémiose, qui sont susceptibles de faire émerger du sens, ne sont pas le propre de l'homme mais existent chez tous les êtres vivants et sont à la base de leur fonctionnement. Uexküll [1940], le premier, a développé une théorie selon laquelle chaque individu de chaque espèce construit sa propre réalité (Umwelt) en fonction de ses besoins et de ses activités. », TIMSIT-BERTHIER, Martine, « Approche « biosémiotique » des unités sémiotiques temporelles », *Mathématiques et sciences humaines*, 45^e année, n°178, 2007(2), p. 58.

¹³³ BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *Attitudes et Mouvements: étude fonctionnelle du mouvement humain*, 1957.

¹³⁴ PAILLARD Jacques, "Motor and representational framing of space", *Brain and Space*, ed. J. Paillard, Oxford, Oxford University Press, 1991, p. 163-182.

¹³⁵ « - Le premier de ces systèmes est le plus archaïque dans l'évolution animale et celui qui apparaît le plus précocement chez le jeune enfant. Il est relatif à la localisation d'un objet dans l'espace et à la capacité de s'en approcher ou de l'éviter. C'est un système de topocinèses qui s'organise dans un espace bidimensionnel avec un référentiel égocentrique. Les topocinèses sont caractérisées essentiellement par leur codage vectoriel en termes de direction et d'amplitude.

- Le deuxième de ces systèmes apparaît plus tardivement au cours de la maturation. Il est relatif à l'identification des objets et à la capacité de configurer des mouvements complexes dans un espace tridimensionnel. Ce sont les repères stables de l'environnement physique qui servent de référence aux déplacements du corps et des objets. Il s'agit là d'un système de morphocinèses, engendrées par un modèle interne, codé de façon configurale, c'est-à-dire avec préservation des positions relatives, indépendamment de la taille de la forme produite. » TIMSIT-BERTHIER, Martine, « Approche « biosémiotique » des unités sémiotiques temporelles », p. 59.

l'auteur établit quatre groupes¹³⁶ d'Unités en fonction des figures temporelles kinesthésiques auxquelles elles peuvent correspondre :

Groupe 1 : transitif et à caractère configural : *Élan, Chute, Étirement, Freinage, Contracté-Étendu, Suspension-Interrogation.*

Groupe 2 : transitif et à caractère topométrique : *Qui avance, Lourdeur, Trajectoire inexorable, Qui veut démarrer.*

Groupe 3 : non topométrique : *Par vagues, Qui tourne, Obsessionnel.*

Groupe 4 : expressif : *En flottement et Stationnaire* qui s'accompagnent d'une attention flottante, *En suspension*, qui renvoie à un sentiment d'attente, *Sans direction par divergence d'information* qui renvoie à une attention saturée par l'excès d'information et *Sans direction par excès d'information* qui renvoie à un état de tension.

Cette catégorisation semble enrichir les UST de significations nouvelles qui trouvent leur fondement dans un vécu corporel et kinesthésique. Ces travaux théoriques apportent des arguments en faveur de la pertinence de la notion d'UST et laissent penser que l'on pourrait y trouver des outils conceptuels de nature plus générale et plus abstraite.

UST, a-média ? Dimension temporelle musicale, picturale et graphique

Les évolutions temporelles exprimées par les UST semblent présenter un haut degré de généralité qui laisse supposer qu'elles décrivent des caractéristiques temporelles indépendamment des médias. Elles peuvent donc être réactivées à partir de la réception de tous types de médias. Des chercheurs tentent d'extrapoler les acquis de l'analyse musicale par les UST pour explorer d'autres médias¹³⁷ notamment dans les domaines visuels qui intègrent la dimension temporelle comme la peinture, l'art graphique, la danse et le multimédia. La

¹³⁶ « - 1^e GROUPE. Il comprend les UST délimitées dans le temps, comportant les caractères de prévisibilité, de mobilité, avec des points d'appui, des ralentissements ou des accélérations. La dénomination donnée par les musiciens évoque un trajet dans un espace tridimensionnel, un temps linéaire avec un début et une fin et une finalité. Ces UST font penser à des mouvements transitifs, orientés vers un but et présentant un caractère configural.

- 2^e GROUPE. Il comprend les UST non délimitées dans le temps comportant les caractères de prévisibilité, de mobilité comme le précédent mais sans accélération et sans rupture. Les dénominations données par les musiciens se réfèrent à un espace bidimensionnel et à un temps linéaire et évoquent des mouvements transitifs à caractère topométrique.

- 3^e GROUPE. Ce groupe réunit des UST non délimitées dans le temps comportant bien des caractères du groupe précédent. Cependant, les mouvements évoqués semblent ne pas comporter d'intention topométrique. En effet, ils comprennent des répétitions, des accélérations plus ou moins réguliers, des pulsations. Et, leur schème rythmique statique évoque un temps cyclique associé à des impressions archaïques que l'on retrouve aussi bien dans les bruits du monde intérieur (cœur, respiration), que dans les mouvements subis par le corps (bercement, balancement). Ils induisent une attention flottante.

- 4^e GROUPE. Ce groupe réunit les UST non délimitées dans le temps, sans mobilité et sans prévisibilité. Elles présentent une organisation temporelle floue et les dénominations qu'en donnent les musiciens, en général, ne font pas référence à l'espace. Aucun mouvement ne peut être évoqué et l'on peut y trouver une analogie avec les mouvements expressifs décrits par Buytendijk. », *Ibidem*, p. 60-61.

¹³⁷ « Les Unités Sémiotiques Temporelles : enjeux pour l'analyse et la recherche », *MUSIMEDIANE*, N° 5, mars 2010, www.musimediane.com, le 05/03/2011.

métaphore du mouvement est ici un moyen de décrire et de segmenter la musique en éléments qui ont du sens. Elle peut s'effectuer par la description morphologique globale et la description sémantique auxquelles peut s'ajouter la description visuelle et corporelle.

Dans le domaine des arts plastiques et graphiques, J. Mandelbrodt, artiste peintre et physicien, membre du MIM, pose l'hypothèse que les images mentales qui accompagnent le peintre dans sa création sont issues d'images musculaires intériorisées. Ces impulsions musculaires se matérialisent par le geste tracé sur la toile. La dynamique du geste reste présente dans l'œuvre graphique. Elle exprime le mouvement et possède une temporalité sous-jacente susceptible d'être analysée en termes d'UST. Il procède ainsi pour quelques-unes de ses œuvres picturales :

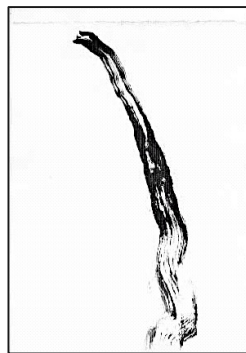


Figure 27: Suspension puis basculement avec accélération (UST *Chute*) J. Mandelbrodt

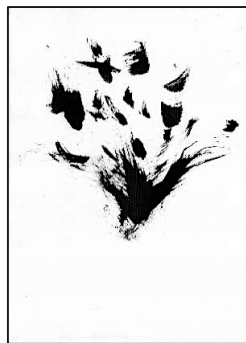


Figure 28: Point d'appui suivi d'une accélération dynamique (UST *Elan*) J. Mandelbrodt



Figure 29: Effet de compression puis de détente (UST *Contracté-étendu*) J. Mandelbrodt

Toutefois, des problèmes d'analyse de l'œuvre graphique surviennent lorsque de nombreux gestes graphiques s'enchevêtrent dans une composition appréhendée dans sa globalité. Du fait que l'art graphique est en premier lieu un art de l'espace dans lequel la temporalité est recomposée et qu'en peinture, une dynamique des masses s'ajoute à la dynamique du geste, J. Mandelbrodt propose de définir des UST complémentaires pour la peinture, susceptibles de traduire les évolutions dynamiques associées à l'espace. Il prolonge ses recherches avec la création d'UST graphiques :



Figure 30: UST *Qui tourne*, encre de J. Mandelbrodt

Mais, comme le souligne X. Hautbois,

« la recherche d'unités temporelles présentes dans l'art graphique est loin d'être aujourd'hui pleinement maîtrisée : l'expérience de l'analyse en UST des représentations graphiques en est à ses balbutiements et beaucoup reste à faire dans ce domaine. »¹³⁸

De son côté, la graphiste J. Rousset recherche un langage graphique qui permette de lire, noter, analyser, communiquer et penser les sons. Dans une démarche calligraphique, elle cherche un geste propre à chaque UST qui tienne compte de l'énergie – force, vitesse – de la direction, des points de rupture, *etc.* Elle conçoit un système de représentations graphiques fondé sur la classification d'UST en type invariant/variant et propose de retenir les signes graphiques suivants :

¹³⁸ HAUTBOIS, Xavier, *Ibidem.*

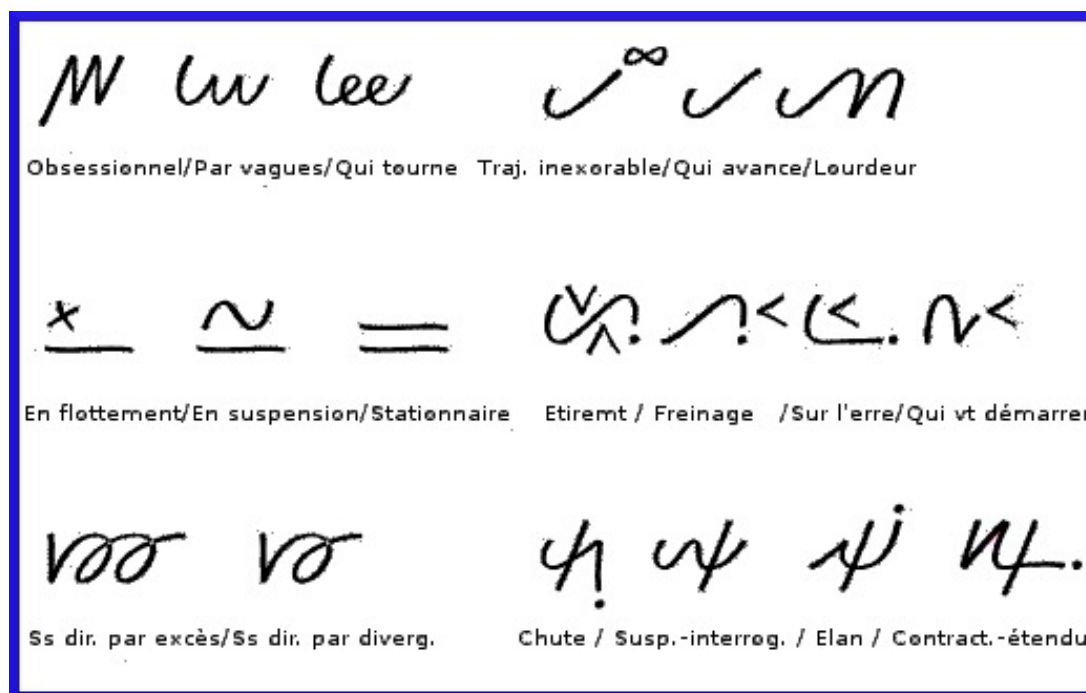


Figure 31: Représentations graphiques des UST de type invariant (à gauche) et variant (à droite)¹³⁹

Elle cherche à transmettre l'idée du mouvement par des représentations qui s'attachent au signe et à l'usage d'un code (symbolisation du sens par flèches, direction par axes vers le haut, le bas, *etc.*). Il semble toutefois encore nécessaire d'effectuer des recherches sur la dynamique des formes graphiques en lien avec celle des formes musicales.

Sur le plan des affinités morphologiques décelables entre éléments des deux langages, dans une démarche comparative, V. Kandinsky effectue des associations entre musique et arts plastiques¹⁴⁰. Toutefois, afin d'éviter toute tendance au parallélisme, il préconise de recourir aux éléments de chaque art sur la base de leur technique propre¹⁴¹.

Musique	Arts plastiques
Volume sonore	Epaisseur de la ligne
Graduation dynamique (<i>pp</i> à <i>ff</i>)	Clarté, précision, croissance/décroissance, dans le tracé de la ligne
Durée, intensité	Taille des points
Résonance	Trait prolongé en pointillé

Tableau 21: Associations musique-arts plastiques selon V. Kandinsky

Sur le plan de la dynamique du graphisme, on sait qu'elle est résiduelle dans le produit fini, dans le tracé. Le traçage, guidant la production de la trace, est sans doute plus proche du

¹³⁹ Julie Rousset, « UST et graphisme- Julie Rousset », *MIM*, www.labo-mim.org/, le 10/08/2013.

¹⁴⁰ Peinture et graphisme.

¹⁴¹ Il est selon lui nécessaire d'analyser à la fois le fonctionnement de chaque art dans sa spécificité et les principes susceptibles de les réunir et d'aboutir à l'« art synthétique ».

caractère dynamique qui anime la structure temporelle musicale. Une recherche portant sur cet aspect dynamique, plus que sur les formes, permettrait d'approcher de plus près le *mouvement* sonore des UST. L'étude des relations entre dynamiques musicales et graphiques permettrait de définir un domaine commun aux deux ensembles, la détermination de caractéristiques motrices permettant de définir des classes de mouvements archétypiques.

L'analyse de performances de plasticiens fondées sur l'association des deux domaines pourrait également permettre de rechercher des données morphologiques et dynamiques communes aux domaines musical et graphique. L'œuvre du plasticien A. Von Briesen pourrait être analysée en ce sens puisqu'elle repose sur une thématique centrale de réaction graphique à l'écoute de compositions musicales. Sa démarche est assumée avec une grande rigueur, avec une méthode de travail très précise. Il choisit des moyens graphiques restreints¹⁴², des crayons noirs plus ou moins fins afin que sa main puisse répercuter les inflexions de la matière sonore par une variété de points, lignes, pointillés et par des espaces blancs qui contribuent au dynamisme de ce jeu. Il dessine les yeux fermés pour que la dynamique du geste ne soit pas influencée par des critères esthétiques. L'artiste cherche à saisir intuitivement l'énergie qui se dégage d'une œuvre musicale et qui se révèle à travers ses dessins, propre à chacune. C'est sans doute pourquoi on pourra percevoir, entre des suites de dessins liées à des œuvres de Beethoven, autant de différences qu'entre des suites concernant des œuvres historiquement distantes de plusieurs siècles. Dans tous les cas, le vocabulaire graphique est commun mais son exploration donne lieu à des conséquences visuelles diverses. Mais plus que dans la production graphique finale, c'est avant tout lors de l'activité motrice du plasticien durant l'écoute musicale que nous pourrions tenter de saisir les propriétés dynamiques du geste plastique en lien avec les propriétés dynamiques musicales.

3.4.4 Les sons évocateurs de mouvement

De récentes études en acoustique et en sémiotique sont menées sur les caractéristiques sonores liées au concept général de mouvement évoqué par des sons. Elles visent à comprendre comment les auditeurs attribuent des significations aux sons et à déterminer des propriétés acoustiques qui transportent l'information de mouvement. Sur un plan théorique, suivant la théorie écologique de la perception de J. Gibson, les propriétés acoustiques qui transportent les informations d'identification d'une source sonore sont connues comme des

¹⁴² Il évite la dimension métaphorique de la couleur et utilise des feuilles de papier d'un même type et d'un même format (38 /38 cm), qui permet de bien différencier une suite de dessins d'une autre et d'observer à quel point le résultat peut varier en fonction de l'œuvre adoptée comme catalyseur.

invariants¹⁴³. Une étude de Merer *et al.* fait un premier pas dans la détermination des invariants acoustiques¹⁴⁴. Elle s'appuie sur des tâches de catégorisation verbale libre d'auditeurs à partir de l'écoute de 68 sons abstraits¹⁴⁵ et aboutit à l'identification de trois catégories de mouvement – tourner, passer, tomber – associées à différents descripteurs acoustiques¹⁴⁶. La caractérisation perceptive du mouvement évoqué par les sons est ensuite étudiée¹⁴⁷ via les réponses verbales et les dessins produits avec une interface graphique pendant que les auditeurs écoutent 40 sons abstraits. Les résultats indiquent que les auditeurs distinguent trois catégories de formes (linéaire, avec oscillations régulières, avec oscillations circulaires) et trois directions (en montant, en descendant, horizontalement). L'analyse des dessins permet d'observer trois catégories de taille (petite, moyenne, grande), trois niveaux d'aléas (aucune irrégularité, irrégularités de faible ou de haute amplitude) et de vitesses (constante, avec des variations moyennes ou fortes).

E. Thoret *et al.* s'intéressent¹⁴⁸ à la capacité humaine à percevoir des mouvements biologiques à partir de bruits de frottement produits par des dessins¹⁴⁹ et à la capacité à reconnaître des formes dessinées à partir de ces sons de frottement générés¹⁵⁰. Ils montrent que les sons peuvent nous informer sur les mouvements humains si leurs propriétés

¹⁴³ J. Gibson (1966) définit les invariants comme des propriétés de l'environnement qui ne varient pas, et donc, qui révèlent une structure dans un flux sensoriel permettant la perception et l'action. Suivant cette perspective écologique, percevoir un événement sonore est plus qu'un simple pattern correspondant avec les représentations mémorisées ; le son transporte de façon inhérente une information pertinente sur le monde physique par des propriétés acoustiques invariantes, tel que pattern temporel ou relations spectrales qui sont contenues dans un flux acoustique (Gaver, 1993). L'information qui précise la nature de la source sonore est l'invariant structural, celle sur le type de changement ou sur l'action impliquée est l'invariant de transformation (McAdams, 1993). Les invariants transformationnels sont reliés aux actions effectuées sur un objet donné (Gaver, 1993). Par exemple, suivant le rythme d'une série d'impacts contenus dans un son, il est possible de prédire si un verre est cassé ou s'il rebondit (Warren et Verbrugge, 1984).

¹⁴⁴ MERER, Adrien, YSTAD, Solvi, KRONLAND-MARTINET, Richard and ARAMAKI Mitsuko, "Semiotics of Sounds Evoking Motions : Categorization and Acoustic Features", *Computer Music Modeling and Retrieval : Sense of Sounds*, ed. Richard Kronland-Martinet, Solvi Ystad and Kristoffer Jensen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, p. 139-158.

¹⁴⁵ *I.e.* des sons dont la source n'est pas aisément identifiable.

¹⁴⁶ Tel que le ratio de modulation de fréquence ou l'amplitude de modulation, par exemple.

¹⁴⁷ MERER, Adrien, ARAMAKI Mitsuko, YSTAD, Solvi, KRONLAND-MARTINET, Richard, "Perceptual Characterization of Motion evoked by Sounds for Synthesis Control purposes, *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol. 10, issue 1, 2013, p. 1-24.

¹⁴⁸ THORET, Etienne, ARAMAKI Mitsuko, KRONLAND-MARTINET, Richard, VELAY, Jean-Luc, YSTAD, Solvi, "From Sound to Shape : Auditory Perception of Drawing Movements", *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, American Psychological Association, 2014, 40(3), p. 983-994.

¹⁴⁹ Dans une première expérience, des bruits de frottement, synthétisés en temps réel et modulés par le profil de vitesse du geste de dessin, révèlent que les sujets associent un mouvement biologique à des sons dont les variations de timbre sont générées par des profils de vitesse qui suivent la loi de puissance du 1/3.

¹⁵⁰ Nos capacités à reconnaître des formes dessinées sont testées avec deux tâches d'association dans lesquelles des sons enregistrés et synthétisés doivent être associés à des formes visuelles distinctes et similaires. Les résultats indiquent que pour les sons synthétisés et enregistrés, les sujets font des associations correctes pour des formes différentes, tandis que des confusions sont observées pour des formes similaires. Les comparaisons entre sons enregistrés et sons de synthèse mènent à conclure que les variations de timbre induites par le profil de vitesse rendent possible la reconnaissance de forme.

acoustiques dynamiques sont conformes à la loi cinématique qui régit les mouvements réels. Pour évoquer le mouvement biologique naturel et fluide, les variations de timbre doivent être générées par un profil de vitesse qui obéit à la loi de puissance du $1/3$. Le profil de vitesse peut être considéré comme un invariant transformationnel du mouvement du dessin. Il semble véhiculer une information pertinente pour l'identification de la forme graphique. Pour imaginer un geste sous-tendu par le son de frottement du stylo, on extrait des informations cinématiques – profils de vitesse – et on associe les accélérations et décélérations aux caractéristiques de courbure de la forme dessinée. Une relation est activée entre des formes dessinées et des sons produits qui suggère que des règles communes contraignent perception et action de mouvements biologiques.

Enfin, des données scientifiques concernant le couplage spatio-temporel dans l'activité graphique¹⁵¹ permettent de mieux comprendre les liens entre la structure temporelle dynamique de la musique et la trajectoire spatiale graphique correspondante. Selon ce couplage spatio-temporel graphique, si la trajectoire spatiale détermine le profil de vitesse, alors, réciproquement, un profil de vitesse particulier implique une trajectoire spatiale particulière. Ces données améliorent considérablement la respectabilité scientifique de la technique des mouvements accompagnateurs de l'écoute musicale développée initialement au début du XX^e siècle par E. Sievers et G. Becking puis par A. Truslit. En fait, A. Truslit semble avoir converti l'information de vitesse contenue dans la microstructure temporelle et dynamique de la musique en vitesse correspondante dans une trajectoire spatiale du mouvement des bras. Il décrit comment, avec l'entraînement, une correspondance étroite peut être établie entre information auditive et trajectoire spatiale. Cette méthode qui semblait fortement idiosyncrasique trouve un fondement solide dans les contraintes du mouvement biologique : les lois physiques du mouvement imposent des contraintes sur les microstructures de performances musicales qui peuvent être reflétées dans la perception de l'auditeur.

3.4.5 Hypothèses d'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques

Les arguments théoriques et empiriques précédents sont en faveur d'un rapprochement entre rythme musical et mouvement corporel, considérés dans une relation de similarité, comme deux formes dont les dynamiques peuvent être appariées.

¹⁵¹ VIVIANI, Paolo, "Motor-perceptual interactions: The evolution of an idea.", *op. cit.* VIVIANI, Paolo and SCHNEIDER, Roland, "A developmental study of the relationship between geometry and kinematics in drawing movements", *op. cit.* VIVIANI, Paolo and STUCCHI, Natale, "Biological Movements look uniform: Evidence of motorperceptual interactions", *op. cit.*

La représentation graphique *enactive* est envisagée comme une forme dynamique, avec un traçage qui laisse la trace de son mouvement. Elle présente deux intérêts méthodologiques majeurs dans la description d'un flux musical. D'une part, elle dépasse les limites de la description linguistique et permet aux auditeurs d'exprimer leurs connaissances par l'action en temps réel. D'autre part, elle fait appel à la motricité fine de l'auditeur dont les mouvements graphiques corporels précis et variés peuvent accompagner la dynamo-agogique du rythme durant l'écoute.

Les deux formes dynamiques, le rythme et le mouvement, présentent des propriétés amodales communes qui permettent à l'auditeur de les accorder. Toutefois, l'écart entre les registres sensoriels aural et moteur interdit toute correspondance terme à terme entre rythme musical et mouvement graphique. Les deux ensembles, patterns sonores et patterns corporels graphiques, ne sont pas équivalents mais l'on suppose que leur dynamique est comparable. On suppose que l'information de la dynamo-agogique¹⁵² du rythme peut être transférée par l'auditeur dans l'information de vitesse du traçage, qui sera en partie transcrite dans la forme de la trace graphique résultante.

3.5 Développement du rythme, de la graphomotricité et de la représentation graphique du rythme

L'approche du *mouvement* du rythme par les mouvements graphiques de l'auditeur de cinq ans nécessite des données complémentaires issues du champ de la psychologie de la musique et de la psychologie du développement concernant les aptitudes de l'enfant prélecteur dans le domaine du rythme et de l'audition, de la graphomotricité et des capacités représentationnelles. En effet,

« Tout effort de connaissance et d'interprétation scientifique a toujours consisté à remplacer ce qui est référence instinctive ou égocentrique par une autre table dont les termes soient objectivement définis. [...] Il importe donc au premier chef de bien définir pour tout objet d'observation quelle est la table de référence qui répond au but de la recherche. Pour qui étudie l'enfant, c'est incontestablement la chronologie de son développement. »¹⁵³

Dans le cadre du développement général¹⁵⁴, J. Piaget situe l'enfant près du terme de l'une de ses périodes de développement psychologique dite préopératoire – de 2 à 7 ou 8 ans

¹⁵² Organisation temporelle de l'intensité et des durées.

¹⁵³ WALLON, Henri, *L'évolution psychologique de l'enfant*, Paris, Armand Colin, 1941/2002, p. 47.

¹⁵⁴ TOURRETTE, Catherine et GUIDETTI, Michèle, *Introduction à la psychologie du développement. Du bébé à l'adolescent*, Paris, Armand Colin, 1994, p. 111-115.

– durant laquelle des acquisitions d’une importance majeure se produisent. Par intériorisation de l’action, la fonction sémiotique ou symbolique¹⁵⁵ lui permet de se servir de ses représentations mentales pour évoquer, même en leur absence, les objets ou événements. Il reste néanmoins encore prisonnier de son propre point de vue. Cette période est caractérisée par le syncrétisme et l’animisme. Les explications logiques qui impliquent l’enchaînement de causes et de conséquences n’ont pas de prise sur lui. La notion de conservation est absente jusque vers 7 ou 8 ans et la notion d’invariance s’établit progressivement. Vers 5 ans, l’égoïsme décline par décentration. Le raisonnement se modifie avec une accommodation plus forte à la réalité extérieure objective. Les représentations s’articulent en se coordonnant et annoncent la réversibilité de la pensée. L’enfant devient capable d’analyser certains rapports et de coordonner entre elles les données de la perception. Cette coordination nouvelle des actions intériorisées se fait par régulations successives qui correspondent à des tâtonnements mentaux dans la recherche de la solution de problèmes. Les comportements d’imitation et de représentation se développent progressivement. Les jeux symboliques sont des moyens d’adaptation intellectuels et affectifs.

H. Wallon situe l’enfant de 3 à 6 ans en fin du stade du personnalisme¹⁵⁶, dans une période d’imitation qui marque l’avènement de la conscience de soi, à travers la conscience corporelle et la conscience sociale. L’imitation d’autrui qui était immédiate devient progressivement différée et représentative ; elle se produit en l’absence du modèle. L’évolution de l’ensemble du stade est marquée par un progrès dans l’affirmation de soi et dans le développement intellectuel, particulièrement sensible dans les domaines de l’intelligence pratique des situations et de l’intelligence discursive.

« [...] Après cinq ans s’annonce l’âge scolaire, où l’intérêt va se renverser du moi vers les choses. Cependant le passage sera long et difficile. Jusqu’à six ans et au-delà, l’enfant reste engagé dans son attitude et ses occupations présentes, son activité a quelque chose d’exclusive, il est incapable d’évolution rapide entre les objets ou les tâches. »¹⁵⁷

Vers 7-8 ans, l’enfant passe à la période des opérations concrètes. Il est alors capable de comparer des causes et des effets, de les classer, de les catégoriser, d’anticiper parfois, mais toujours en s’appuyant sur ce qu’il vit dans le concret de ses expériences.

Une table de référence précise les aptitudes de l’enfant prélecteur dans les trois principaux domaines sollicités lors de l’activité de représentation graphique du rythme, avec ses capacités rythmiques, grapho-motrices et représentationnelles.

¹⁵⁵ PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel, *La psychologie de l’enfant*, Paris, PUF, 1966, p. 53-88.

¹⁵⁶ Succédant à la période d’opposition (3-4 ans) et à la période de grâce, de séduction (4-5 ans), in WALLON, Henri, *L’évolution psychologique de l’enfant*, p. 132.

¹⁵⁷ *Ibidem*, p. 178.

3.5.1 Aptitudes rythmiques

3.5.1.1 Problématique du développement musical rythmique

Il n'y a pas de consensus sur ce qu'est le développement musical. Sa théorisation reste source de nombreux questionnements, aucun modèle ne paraissant en mesure de préciser l'évolution des aptitudes musicales¹⁵⁸. L'établissement d'un parcours développemental du rythme présente sensiblement les mêmes difficultés¹⁵⁹ conceptuelles et méthodologiques et pose, en outre, la question des liens entre développements rythmique, musical et général¹⁶⁰. Etant donné cette problématique non résolue, un premier repérage bibliographique¹⁶¹ vise à poser quelques jalons dans un parcours des aptitudes rythmiques qui reste à établir.

Le facteur rythmique est considéré comme premier ou prédominant dans le développement musical pour diverses raisons. Les aptitudes rythmiques sont probablement les premières à émerger et se développer dans les réponses des nourrissons à la musique. Elles sont manifestées dans les premiers stades par différents types de mouvements physiques, comme balancer, hocher, etc. Au stade sensori-moteur (0-2 ans), les réactions au rythme sont plus fortes que celles à la mélodie¹⁶². Le rythme fait une impression spéciale au jeune enfant car, contrairement à la mélodie, il peut être saisi et copié par tous les organes sensoriels et moteurs¹⁶³. A partir de 3-4 ans, les capacités d'imitation de l'enfant sont assez développées pour que des chansons entières puissent être rappelées. Généralement, le rythme et le contour

¹⁵⁸ WIRTHNER, Martine et ZULAUF, Madeleine (éd.), *A la recherche du développement musical*, Paris, L'Harmattan, 2002, p. 15-57.

¹⁵⁹ Des difficultés non surmontées tiennent à la richesse et la complexité de la musique, objet artistique, social et culturel, à l'homme et à l'enfant, véritable défi à la psychologie, et aux interactions objet-sujet, dans la conjonction des aspects perceptifs, affectifs, moteurs, cognitifs et sous l'influence de tout ce qui entre en jeu dans la formation d'une personnalité musicale –notamment l'hérédité, la maturation psychologique, le milieu, l'activité propre de l'individu et l'enseignement musical reçu. Des questions fondamentales restent en suspens, notamment sur les effets liés à la culture et à l'environnement. Les recherches sur les origines développementales de la musicalité posent des questions d'innéité ou d'acculturation des compétences musicales chez l'homme. Quant au effets de l'enseignement, on peut considérer que le stade de développement musical des enfants de 5 ans est suffisamment précoce pour éloigner la problématique du développement musical par entraînement - spécialisé, délibéré et conscient.

¹⁶⁰ Certains auteurs (Hiriartborde, 1964 ; Zenatti, 1976) considèrent que le rythme est solidaire dans ses progrès de l'ensemble du développement de l'enfant. Le nombre de réussites progresse avec l'âge dans toutes les épreuves, en relation avec la maturation et le développement des capacités perceptives. C. E. Seashore trouve que les normes varient avec l'âge mais n'explique pas cet accroissement par un progrès rythmique. On ne peut déceler une aptitude rythmique qu'à travers une tâche qui met en jeu d'autres aptitudes évolutives. Par exemple, la mesure des aptitudes rythmiques de l'enfant est souvent associée à une activité motrice, ce qui revient à attribuer le développement musical au développement cognitif et physique.

¹⁶¹ L'étendue de ce champ de recherche amène à opérer des choix bibliographiques concernant la validité et le degré de fiabilité et de transférabilité des données. En effet, les études concernent des objets rythmiques distincts, des catégories musicales variées, des individus d'âges divers, issus d'environnements géographiques, socioculturels et éducatifs contrastés.

¹⁶² TAYLOR, Dale B., *Music and Child Development*, 1990, p. 242.

¹⁶³ SHUTER-DYSON, Rosamund, *The Psychology of Musical Ability*, London, Methuen, 1968, p. 74.

sont maîtrisés avant l'habileté à reproduire les intervalles précis et à maintenir une même tonalité pendant toute une chanson. Le facteur rythmique est prédominant à l'âge de 6 ans. A 7 ans, les domaines mélodique, harmonique et rythmique auraient une égale importance¹⁶⁴.

Généralement, les améliorations dans la perception auditive temporelle sont liées à l'âge, mais les causes de progrès sont multiples. Si l'on ne peut rejeter l'importance de l'expérience et de l'apprentissage perceptif, des facteurs biologiques jouent également un rôle significatif. Une des possibilités est la myélinisation du système de l'audition qui se poursuit durant l'enfance et qui est connue pour affecter le traitement des informations auditives¹⁶⁵. Des effets d'apprentissage peuvent également être importants dans les progrès effectués par les enfants, mais ils sont rarement mesurés. En 1976, A. Zenatti demande¹⁶⁶ aux enfants de 4-5 ans de taper en retour des rythmes de 2, 3 ou 4 notes sur deux essais. Elle trouve une amélioration marquée à l'âge de 4.8 : 70% des enfants qui ont échoué à leur premier essai montrent une amélioration significative après observation de l'expérimentateur qui tape le rythme une seconde fois. D'autres études ont montré un net développement de cette aptitude entre 6 et 12 ans. Avec des enfants âgés de 6, 8 et 11 ans, H. Gardner trouve une influence de l'âge et de la composition de la structure rythmique mais précise qu'avec des enfants de 6 ans, les performances s'améliorent très significativement lorsque deux ou trois essais successifs sont accordés au sujet pour reproduire une structure¹⁶⁷. Enfin, la culture influence les auditeurs qui sont sensibles à des patterns et des conventions culturelles apprises. La communication musicale peut s'appuyer sur la connaissance de ces patterns, qui peut être liée à différents types de convention. J. S. Bruner met en garde contre

« [...] l'illusion qu'il y a des 'enfants standards' desquels les autres dévient. Il n'y a pas d' 'enfant standard', et 'enfance naturelle' est difficile à imaginer en dehors d'un contexte culturel. »¹⁶⁸

Dans le domaine musical, l'enfant de cinq ans peut être considéré comme sujet naïf, *i.e.* qui n'a pas reçu un enseignement spécifique en la matière. Dans son environnement non scolaire, il est fréquemment entouré de musique mais il est rarement confronté aux formes de description verbales et graphiques utilisées dans ce domaine. Son appréhension des phénomènes sonores et musicaux est relativement peu influencée par un enseignement formel ou informel. A mesure qu'il grandit, il assimile des éléments de son environnement musical et

¹⁶⁴ ZENATTI, Arlette, *L'enfant et son environnement musical*, Issy-les-Moulineaux, Editions Scientifiques et Psychologiques, 1981, p. 137.

¹⁶⁵ YAKOVLEV, Paul Ivan and LECOURS, André Roch, "The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain", *Regional Development of the Brain in early life*, Blackwell Scientific, Oxford, 1967, p. 3-70.

¹⁶⁶ ZENATTI, Arlette, *op. cit.*, 1976.

¹⁶⁷ GARDNER, Howard, "Children's duplication of rhythmic patterns", *Journal of Research in Music Education*, 3, 1971, p. 355-360.

¹⁶⁸ BRUNER, Jerome S., *op. cit.*, 1966, p. 67.

s'y adapte. Sur le plan rythmique, la sensibilité à la périodicité est partiellement liée aux chants et danses qu'il pratique, dont la structure dépend de la culture environnante. On ne peut toutefois exclure l'hypothèse d'une influence physiologique des rythmes moteurs spontanés, notamment la marche, dont la pratique sensibiliserait le jeune enfant au phénomène de périodicité¹⁶⁹. Le balayage des recherches en psychologie sur les compétences rythmiques au cours de la petite enfance montre une grande variété de points de vue des études qui sont généralement plus descriptives qu'explicatives. Cette diversité est probablement la conséquence de difficultés théoriques et méthodologiques liées à l'absence de définition précise des aptitudes rythmiques, à l'âge des sujets, au matériau testé et à la nature de la tâche.

- **Absence de définition précise des aptitudes rythmiques**

Afin d'objectiver les différences individuelles dans le domaine du rythme, les psychologues ont tenté de déterminer des compétences spécifiques qui seraient les indicateurs les plus appropriés de la compréhension du rythme.

« Vouloir les étudier postule que l'on peut répondre à la question préliminaire : en quoi consistent ces aptitudes et quels sont les moyens que nous avons de les déceler ? Nous ne pouvons nous appuyer sur des études définitives. »¹⁷⁰

B. M. Teplov distingue trois aptitudes musicales de base¹⁷¹ dont le complexe forme le noyau essentiel : le sens tonal, l'aptitude à la représentation auditive et le sens musico-rythmique. Dans la petite enfance, ce sens musico-rythmique se traduit par le fait que l'audition musicale est immédiatement accompagnée de réactions motrices variées, restituant plus ou moins fidèlement le rythme de la musique. P. Fraisse considère que la double origine perceptivo-motrice du rythme lui confère une certaine ambiguïté. E. Hiriartborde montre les caractères essentiels du rythme qui sont liés à sa nature perceptivo-motrice :

« Il y a correspondance, association intime entre le mouvement et ses repères auditifs et proprioceptifs qui sont à la fois objet de la structuration perceptive et éléments participant à l'organisation motrice de la réponse. »¹⁷²

Il conçoit les aptitudes rythmiques suivant trois facteurs solidaires qui regroupent les mécanismes perceptifs et moteurs impliqués dans le rythme : la structuration perceptive, le facteur practo-rythmique qui concerne les caractères et le contenu de la réponse motrice

¹⁶⁹ ZENATTI, Arlette, *op. cit.*, 1981, p. 250.

¹⁷⁰ FRAISSE, Paul, PICHOT, Pierre et CLAIROUIN-OLÉRON, Geneviève, « Les aptitudes rythmiques. Etude comparée des oligophrènes et des enfants normaux », *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, n° 42, Paris, Presses Universitaires de France, 1949, p. 312.

¹⁷¹ TEPLOV, Boris Mikhailovich, *op. cit.*

¹⁷² HIRIARTBORDE, Edmond, *Les aptitudes rythmiques. Etude de psychologie différentielle*, Paris, Dactylo-Sorbonne, 1964, p. 208.

rythmique, qu'elle s'effectue ou non en synchronisation avec le rythme externe, et le facteur synchro-perceptivo-moteur. La structuration des groupes rythmiques se fait sur la base des lois d'assimilation et de distinction, dans le cadre de la perception du temps. Parallèlement, la base motrice du rythme se manifeste par les phénomènes d'induction motrice et de synchronisation des réponses avec les éléments rythmiques.

« D'une manière générale, les progrès dans un secteur de l'activité rythmique se répercuteraient donc sur les autres secteurs : les modalités du rythme s'éprouveraient les unes les autres. »¹⁷³

La croyance en un *sens du rythme* relativement inné expliquerait le peu d'investigations génétiques au cours du XX^e siècle¹⁷⁴. Ce sens est caractérisé par l'aptitude à traduire ses perceptions en un comportement moteur qui se synchronise avec les formes perçues.

« Puisque de toute manière il n'y a pas une aptitude rythmique, mais des activités rythmiques différentes, nous devons envisager le développement génétique sous plusieurs aspects. »¹⁷⁵

Conséquence du caractère composite des aptitudes rythmiques, une diversité de méthodes a émergé dans les batteries de tests qui recourent aux épreuves les plus diverses pour estimer les aptitudes rythmiques.

« Les tests d'aptitudes rythmiques reflètent des différences entre les conceptions du rythme et des aptitudes musicales par leurs auteurs. »¹⁷⁶

Les catégories communes aux batteries d'épreuves rythmiques¹⁷⁷ permettent de classer les aptitudes rythmiques en deux sous-groupes établis selon la prédominance perceptive ou motrice des performances, avec respectivement des méthodes qui font appel à la discrimination auditive et à la comparaison de patterns et des méthodes fondées sur des réactions motrices spontanées et des réponses à la musique par des mouvements rythmiques. Deux principaux courants se dégagent, suivant que le rythme est considéré comme une activité mentale ou dans des constantes motrices. Toutefois, certains tests peuvent mesurer des capacités identiques ou mettre en jeu des capacités perceptives ou motrices dont l'importance n'est pas facile à estimer. Enfin, certains auteurs ne se laissent pas enfermer facilement dans ces deux catégories, notamment lorsqu'ils parlent d'*expérience rythmique*,

¹⁷³ *Ibidem*, p. 222.

¹⁷⁴ FRAISSE, Paul, *Psychologie du rythme*, Paris, PUF, 1974.

¹⁷⁵ *Ibidem*, p. 203.

¹⁷⁶ SHUTER-DYSON, Rosamund, "Musical Ability", *The Psychology of Music*, ed. Diana Deutsch, London, Academic Press, 1982, p. 393.

¹⁷⁷ Batteries d'épreuves rythmiques de Seashore (1919), Thackray (1969), Fraisse (1974) et Zenatti (1981).

composite et complexe. P. Fraïsse estime¹⁷⁸ que dans le rythme, la distinction du perceptif et du moteur est abstraite, d'où la difficulté à dissocier perception et motricité dans les progrès de l'enfant qui sont d'abord perceptifs – discrimination et appréhension des formes – mais aussi moteurs – meilleure coordination sensori-motrice. Une même compétence rythmique peut être évaluée suivant différentes méthodes, les études recourant à la production de rythmes, lors d'improvisations rythmiques corporelles, vocales, ou à la reproduction de rythmes médiatisée par un instrument, une baguette, ou directe avec la frappe des mains.

- **Âge des sujets**

Chez les jeunes enfants, l'une des difficultés à déterminer des seuils pour la perception et la performance musicale est liée aux limites de leur empan attentionnel, de leur capacité mémorielle et de leur motivation. Leur proposer des tâches appropriées pour la mesure des réponses comportementales demeure problématique. L'examen d'études requérant différents modes de réponse à la musique paraît crucial dans la compréhension de la façon dont les enfants apprennent et se développent. En effet, ils répondent à la musique par de nombreux modes : ils chantent, jouent d'instruments en touchant ou soufflant de diverses manières, bougent ou écoutent la musique, lisent ou créent une notation, regardent ou écoutent les autres qui dansent, chantent ou jouent d'un instrument. Leur capacité de description langagière étant encore limitée, les chercheurs recourent à des significations non-verbales, notamment à l'usage de mouvements¹⁷⁹, pour tirer des réponses sur les caractéristiques musicales. Les résultats indiquent une compréhension conceptuelle plus sophistiquée que ne le montrent les capacités verbales. Dans les tâches de comparaison d'événements, des recherches évaluent les capacités des enfants à identifier des contrastes de paires d'éléments associés avec un contexte musical. En général, les enfants d'âge préscolaire sont capables de discriminer une variété de concepts mais les tâches de double discrimination leur sont plus difficiles.

- **Matériau testé**

Les épreuves rythmiques¹⁸⁰ sont soit simples¹⁸¹, avec l'appréhension des successions et des structures sonores indépendamment du contenu musical, soit composites¹⁸², avec l'étude du rythme comme une composante de la musique. La présentation avec des sons

¹⁷⁸ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1956, 1974.

¹⁷⁹ On leur demande de faire des gestes ou d'indiquer leurs connaissances par des représentations visuelles.

¹⁸⁰ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974, p. 181.

¹⁸¹ Ce sont des tâches de discrimination de formes rythmiques ; de reproduction de structure temporelle ou intensive ; de production ; de synchronisation sensori-motrice ; de post-synchronisation, après cessation du modèle ; de syncopation.

¹⁸² Ce sont des tâches d'accompagnement de la musique, de discrimination des formes rythmiques, de jugement de qualité rythmique, d'identification de chansons, d'exécution de chants.

frappés ou avec des sons musicaux exerce une influence très significative sur la perception de ces structures. Environ un tiers des enfants de 4-5 ans examinés ont une nette difficulté à reproduire des structures rythmiques présentées musicalement¹⁸³. La présentation de structures rythmiques avec des sons de hauteurs identiques facilite la discrimination de modifications rythmiques à l'âge de 5-6 ans.

- **Nature de la tâche**

Les causes de progrès dans les aptitudes rythmiques sont difficiles à déterminer du fait que les performances dépendent de la nature de la tâche. Par exemple, il s'avère que les enfants de 3 ans dupliquent mieux quand ils reproduisent des rythmes parlés. Ils sont plus performants pour taper sur un rythme régulier lorsqu'ils frappent avec des baguettes qu'en tapant dans les mains¹⁸⁴. Les tâches dépendent de plusieurs facteurs. Par exemple, la reproduction d'un rythme dépend de deux éléments corrélés, la complexité de la structure appréhendée et le nombre de ses éléments¹⁸⁵.

En dépit de ces difficultés théoriques et méthodologiques liées au développement musical, les données indicatives sur les aptitudes rythmiques des enfants prélecteurs sont classées et présentées¹⁸⁶ systématiquement selon qu'elles concernent plus directement la périodicité, la structure ou le *mouvement* du rythme, suivant le matériau rythmique et le paramètre étudié, puis selon le type de tâche proposé et enfin dans l'ordre chronologique du développement de l'enfant. Ces données génétiques rythmiques proviennent de recherches sur des sujets normaux et sont bornées de la naissance – de nombreuses recherches concernent les nourrissons et révèlent leurs compétences rythmiques insoupçonnées – jusqu'à 7 ans environ.

3.5.1.2 Aptitudes concernant la périodicité du rythme

Chez l'enfant, la sensibilité à la périodicité du rythme est principalement mesurée par les tâches de synchronisation, plus rarement par les tâches de discrimination et de production musicales. Les données suivantes concernent la perception de tempo/vitesse, de période ou cycle – intervalle de temps, de nombre de périodes – et de mètre.

¹⁸³ ZENATTI, Arlette, « Jugement esthétique et perception de l'enfant, entre 4 et 10 ans, dans des épreuves rythmiques », *Année psychologique*, 76, 1976, p. 93-115.

¹⁸⁴ RAINBOW, E. L., « A longitudinal investigation of the rhythmic ability of preschool age children », *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 50, p. 55-61.

¹⁸⁵ STAMBAK, Mira, *Trois épreuves de rythme*, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1960.

¹⁸⁶ Les données brutes sont présentées sous forme énumérative, de façon provisoire.

Réactions motrices spontanées

La précocité des réactions motrices au rythme est due à l'induction motrice des rythmes. Le système d'anticipation est très spontané et très contraignant. La séquence d'intervalles temporels de 200 ms est le tempo-limite d'induction du mouvement, quel qu'il soit¹⁸⁷. Dès la fin de la première année, l'enfant se met à se balancer sur l'incitation d'une musique très rythmée sans qu'il s'établisse une réelle synchronisation entre sons et mouvements¹⁸⁸. Jusqu'à 4-5 ans, les enfants ne distinguent pas le rythme d'une pièce des mouvements qui l'accompagnent et ne peuvent chanter sans bouger les mains et les pieds¹⁸⁹.

Synchronisation

Les tâches de synchronisation sont intéressantes car elles permettent d'étudier comment le sujet encode la durée¹⁹⁰ et comment il maintient la cadence¹⁹¹. Il s'agit de coordonner entre elles les dimensions temporelles de la réponse et de la structure modèle externe à partir d'une anticipation de l'action. L'enfant n'y arrive pas d'emblée : il répond d'abord à l'excitation rythmique par une activité ayant sa propre période, donc d'une manière asynchrone. Pourtant, des enfants très jeunes peuvent donner des réponses rythmées correspondant aux accents métriques de la musique¹⁹². La synchronisation aux groupements rythmiques est donc une forme de maîtrise du temps qui fait penser, dans un autre domaine, aux coordinations de l'espace gestuel, kinesthésique, avec l'espace environnant.

La périodicité joue sur le double plan de la structuration et de la synchronisation de la réponse avec le stimulus. En un sens, le facteur de synchronisation est subordonné au facteur de la perception : être capable de percevoir des rythmes simples apparaît comme une condition nécessaire à la synchronisation. Pourtant, la synchronisation permet de contrôler la qualité de la structuration, le facteur de synchronisation renforçant le facteur de perception¹⁹³.

Dans la synchronisation à des formes rythmiques, la coordination sensori-motrice est un facteur déterminant qui permet aux performances rythmiques de s'améliorer avec l'âge. Le progrès dans la synchronisation est plus précoce que celui de la reproduction des formes rythmiques. Dans le premier cas, il semble y avoir une véritable induction motrice spontanée d'un mouvement régulier qui est de mieux en mieux contrôlé. Dans le second, les progrès

¹⁸⁷ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974, p. 65.

¹⁸⁸ *Idem.*

¹⁸⁹ SULITEANU, Ghizela, "The Role of Songs for Children in the Formation of Musical Perception", *The Performing Arts : Music and Dance*, ed. John Blacking and Joann Kealiinohomoku, Mouton-Publishers, New York, 1979.

¹⁹⁰ Comment se forme un modèle de l'intervalle qui sépare les stimuli auxquels il doit synchroniser son geste moteur - frappe ou quelquefois son parlé.

¹⁹¹ *I.e.* comment il reproduit le rythme au niveau moteur.

¹⁹² CHRISTIANSON, Helen M., *Bodily Rhythmics Movements of Young Children in relation to Rhythm in Music*, Columbia University Teachers College, New York, 1938.

¹⁹³ HIRIARTBORDE, Edmond, *op. cit.*, p. 36.

sont d'abord perceptifs, discrimination et appréhension des formes, mais aussi moteurs, avec une meilleure coordination sensori-motrice¹⁹⁴.

Des données développementales chronologiques indiquent que :

- Les capacités de synchroniser la marche ou la danse avec le rythme musical suivent le développement. Il existe de grandes différences individuelles à cet égard¹⁹⁵.
- Dès la naissance, on constate une correspondance de rythme entre les micromouvements du corps du nourrisson et les sons du discours que ce dernier entend¹⁹⁶.
- A deux mois, on observe un synchronisme relatif des activités vocales et gestuelles de l'enfant et de sa mère. Le réglage temporel volontaire des activités propres pour obtenir de tels synchronismes aura lieu bien plus tard¹⁹⁷. L'activité motrice est mieux synchronisée à la stimulation rythmique qu'à la naissance¹⁹⁸.
- Les enfants de 5 mois ont besoin de signaux multimodaux pour détecter des changements de rythme tandis qu'à 8 mois ils sont capables d'employer une modalité sensorielle unique pour de telles tâches¹⁹⁹.
- La capacité d'entraînement avec le matériau musical n'émerge pas complètement avant la première année²⁰⁰.
- Plus de la moitié des enfants d'un an et demi répondent à la musique en faisant des mouvements circulaires en conjonction avec l'intensification. La fréquence de « conduite » qui est une ondulation des bras en réponse à la musique augmente. Ces mouvements non rythmiquement coordonnés avec la musique reflètent un enthousiasme moteur général et une exubérance suscitée par la musique²⁰¹.
- Dans la deuxième année, le nombre de réponses actives à des pièces s'accroît ainsi que le nombre de types de mouvement physique. On constate l'existence de signes précoces de coordination entre musique et mouvement vers 18 mois. Cette coordination peut n'être soutenue que sur des périodes limitées de temps qui s'allongent à mesure que l'enfant grandit.

¹⁹⁴ FRAISSE, Paul, *op. cit.*

¹⁹⁵ FRAISSE, Paul, PICHOT, Pierre et CLAIROUIN-OLÉRON, Geneviève, *op. cit.*, p. 312.

¹⁹⁶ CONDON, William S. and SANDER Louis W., "Synchrony Demonstrated between Movements of Neonate and Adult Speech", *Child Development*, 45(2), 1974, p. 456-462.

¹⁹⁷ TREVARTHEN, Colwyn, "Descriptive analyses of infant communication behavior", *Studies of Mother-Infant Interaction*, ed. H.R. Schaffer, The Loch Lomond Symposium, London, Academic Press, 1975, p. 227-270.

¹⁹⁸ BOBIN-BEGUE, Anne et PROVASI, Joëlle, « Régulation rythmique avant 4 ans : effet d'un tempo auditif sur le tempo moteur », *L'année psychologique*, Décembre 2008, p. 631-658.

¹⁹⁹ BARRICK, Lorraine E. and LICKLITER, Robert, "Infants' perception of rhythm and tempo in unimodal and multimodal stimulation : a developmental test of the intersensory redundancy hypothesis", *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 4(2), 2004, p. 137-147.

²⁰⁰ HANNON, Erin E. and JOHNSON, Scott P., "Infants use meter to categorize rhythms and melodies : Implications for musical structure learning", *Cognitive Psychology*, 50, 2005, p. 354-377. MacAULEY, J. Devin *et al.*, "The time of our lives : life span development of timing and event tracking", *Journal of Experimental Psychology*, 135, 2006, p. 348-367.

²⁰¹ SLOBODA, John A., *L'esprit musicien. La psychologie cognitive de la musique*, Bruxelles, Mardaga, 1988.

- A 2 ans, quelques enfants parviennent à faire correspondre leurs mouvements au rythme de la musique, pour de courtes périodes de temps. Pour la plupart des enfants, une synchronisation cohérente apparaît seulement vers 3 ans²⁰².
- Après 3 ans, le nombre de mouvements décroît mais le contrôle moteur et les mouvements coordonnés augmentent.
- De 2 à 4 ans, l'enfant produit des mouvements périodiques – clairement visibles dans la dimension verticale – qui sont synchronisés avec la pulsation de base de la musique²⁰³.
- Entre 3 et 4 ans, la coordination rythmique des enfants révèle des progrès plus importants qu'à d'autres âges²⁰⁴.
- Après 4 ans apparaissent des mouvements synchronisés plus complexes. Le nombre de mouvements spontanés décroît très notablement.
- Vers 5 ans, l'enfant est capable de mouvements simples, chorégraphiques, jouant des patterns *ostinato* et associant des sons et des symboles musicaux. Les filles tendent à être plus performantes que les garçons dans les tests de coordination motrice de patterns moteurs²⁰⁵.
- Les enfants de 5 ans présentent un comportement systématique d'anticipation du geste moteur sur le son avec une moins bonne précision que chez les adultes : leurs réponses anticipées et retardées sont plus décalées par rapport au stimulus²⁰⁶.
- La précision dans la synchronisation progresse, surtout entre 7 et 10 ans²⁰⁷.

- **Tempo**

Tâche de discrimination

Le seuil de discrimination – la plus petite différence perçue entre deux tempi – est important pour la modélisation de paramètres psychophysiques de traitement d'intervalles²⁰⁸.

- L'enfant détecte des différences de tempi dès le plus jeune âge²⁰⁹.
- Ce seuil de discrimination s'affine au cours du développement jusqu'à atteindre un seuil optimal de 3% chez l'adulte très entraîné²¹⁰.

²⁰² *Ibidem*.

²⁰³ EEROLA, Tuomas, LUCK, Geoff and TOIVAINEN, Petri, "An investigation of pre-schoolers' corporeal synchronization with music", 9th International conference on Music perception and cognition, Bologna, 2006, .

²⁰⁴ GILBERT, Janet P., "Motoric music skill development in young children : a longitudinal investigation", *Psychology of Music*, 9(1), 1981, p. 21-25.

²⁰⁵ MIYAMOTO, Karen A., "Musical Characteristics of Preschool-Age Students : A Reaview of Literature", *Applications of Research in Music Education*, 26, 2007, p. 26-40.

²⁰⁶ GÉRARD, Claire et AUXIETTE, Catherine, "Programmation motrice et stratégies cognitives dans une tâche de synchronisation", *Journal de Physique 4 Colloque*, 2, 1992, p. 225-228.

²⁰⁷ FRAISSE, Paul, PICHOT, Pierre et CLAIROUIN-OLÉRON, Geneviève, *op. cit.*, p. 312.

²⁰⁸ BOBIN-BEGUE, Anne and PROVASI, Joëlle, "Tempo Discrimination in 3- and 4-year-old children : performances and treshold", *Current psychology letters*, Vol. 2, Numéro 16, 2005, p. 2-12.

²⁰⁹ BARUCH, Clarysse and DRAKE, Carolyn, "Tempo discrimination in infants", *Infant Behavior and Development*, 20, 1997, p. 573-577.

- Le bébé perçoit aisément une équivalence entre deux séquences sonores identiques présentées à des tempi différents²¹¹.
- Des enfants de 3 ans peuvent discriminer deux tempi différant de 120 ms.

Tâche de production

Marche

- L'aptitude à synchroniser avec la pulsation externe s'améliore graduellement durant l'enfance et peut être liée à l'acquisition de l'aptitude à la marche, les deux requérant le développement de coordination entre membres²¹².
- Tempo naturel de marche : de 3 ans 5 mois jusqu'à 5 ans 10 mois l'enfant marche environ à 130-170 battements par minute. C'est plus rapide que le tempo des chants rapides, d'où la difficulté à coordonner le chant et les mouvements corporels de la marche²¹³.
- Entre 2 et 5 ans, il y a progrès dans la synchronisation de la marche ou de la frappe des mains avec une mesure musicale²¹⁴.
- Des enfants de 3 à 5 ans coordonnent leur marche aux battements de la musique. Ils conservent la pulsation en marchant ou avec les mouvements de main²¹⁵.
- A 3 ans, ils tendent à répondre à des changements d'intensité musicale par des changements de tempo moteur.
- Les enfants peuvent avoir un rythme de marche plus rapide que les adultes mais le tempo auquel ils peuvent se synchroniser est plus lent²¹⁶.

Danse

- Les enfants ajustent leurs mouvements à la musique en suivant le tempo. Ils tentent dans des essais variés de réaliser ce qu'ils ont entendu par des mouvements expressifs, ce qui indiquerait une attention accrue aux aspects de mouvement et aux aspects émotionnels de la musique²¹⁷.

²¹⁰ DRAKE, Carolyn, BOTTE, Marie-Claire, "Tempo sensitivity in auditory sequences : evidence for a multiple look model", *op. cit.*

²¹¹ TREHUB, Sandra E. and THORPE, Leigh A., "Infants' Perception of Rhythm: Categorization of Auditory Sequences by Temporal Structure", *Canadian Journal of Psychology*, 43, 1989, p. 217-229. TREHUB, Sandra E., "Musical Predispositions in Infancy", *Annals New York Academy of Sciences*, 930, 2001, p. 1-16.

²¹² DRAKE, Carolyn *et al.*, "The development of rhythmic attending in auditory sequences : attunement, referent period, focal attending", *Cognition*, 77, 2000, p. 251-288.

²¹³ VAUGHAN, M., "Intercultural studies in children's natural singing pitch and walking tempo", *Council for research in music education*, 66-67, p. 96-101, 1981, in SIMS, Wendy L., "Characteristics of young children's music concept discrimination", *Psychomusicology*, Volume 9, Number 1, 1990, p. 85.

²¹⁴ JERSILD, Arthur T. and BIENSTOCK, Sylvia F., "Development of rhythm in young children", *Child Development Monograph*, 22, 1935, p. 1-97.

²¹⁵ Scores moyens, sur 200 enfants : 20% à 2 ans, 25% à 3 ans, 40% à 4 ans, 50% à 5 ans. *Ibidem.*

²¹⁶ La fréquence semble être limitée à 2 Hz. Cela soutient l'hypothèse que la résonance de 2 Hz est relative et liée à un mécanisme de contrôle de locomotion centrale plus que directement à des propriétés mécaniques du corps. STYNS, Frederik *et al.*, "Walking on music", *Human movement science*, 26, 2007, p. 769-785.

²¹⁷ MOOG, Helmut, *The musical experience of the preschool child*, London, Schott, 1968/1976.

- Les mouvements spontanés d'accompagnement de la valse, tels qu'ils apparaissent chez le jeune enfant, sont considérés, quoique la réponse soit relativement simple puisque l'enfant suit le premier temps de la mesure, comme une coordination polyrythmique assez difficile pour lui. La giration est un moyen particulier de traduire le rythme. Réciproquement, le rythme est un moyen qui assure à la giration un tempo suffisamment rapide pour coordonner en un tout les actions motrices qui la composent²¹⁸.

Frappes

- Dès 3 ans, les enfants parviennent à suivre la musique en frappant avec un crayon sur une table. La synchronisation est correcte sur un air de marche. Sur des airs de danse ou de jazz, les frappes sont influencées par la musique sans que les enfants s'y adaptent réellement²¹⁹.

- Quand les enfants doivent synchroniser leurs frappes avec un métronome, les 3 ans frappent un coup par battement sans parvenir à une synchronisation parfaite. A 7 ans, la plupart parviennent à synchroniser leurs frappes à un tempo compris entre 150 et 100 bpm – intervalles de 40 à 60 cs²²⁰.

- Les enfants de 3 ans sont capables de synchroniser les frappes d'une baguette sur une percussion avec le battement de cinq chansons enfantines d'environ 30 secondes présentées à des tempi croissants de 80, 100 et 120 bpm. La tâche est plus difficile pour les tempi de 140 et 160 bpm. Les enfants de plus de 6 ans sont capables de synchroniser leurs frappes à tous les tempi²²¹.

- Les performances enfantines s'améliorent lorsque le battement est mis en évidence dans les rythmes²²² avec des performances proches de celles des adultes²²³.

- A 5 ans, l'enfant peut synchroniser ses frappes avec des séquences musicales²²⁴.

- Des enfants de 7, 9 et 11 ans ont plus de difficultés avec les frappes de doigts syncopées que synchronisées²²⁵.

Tâche de reproduction

²¹⁸ HIRIARTBORDE, Edmond, *op. cit.*, p. 221.

²¹⁹ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974, p. 204.

²²⁰ *Idem.*

²²¹ VAN NOORDEN, Leon, "The functional role and the Bio-kinetics of Basic and Expressive Gestures in Activation and Sonification", *Musical Gestures Sound, Movement, and Meaning*, ed. Rolf Inge Godøy and Marc Leman, New York, Routledge, 2010, p. 166.

²²² DRAKE, Carolyn and PALMER, Caroline, "Accent structures in music performance", *Music Perception : An Interdisciplinary Journal*, 10(3), 1993, p. 343-378.

²²³ ESSENS, Peter J. and POVEL, Dirk-Jan, "Metrical and nonmetrical representations of temporal patterns", *Perception and Psychophysics*, 37(1), 1985, p. 1-7. POVEL, Dirk-Jan and ESSENS, Peter J., "Perception of temporal patterns", *Music Perception : An Interdisciplinary Journal*, 2(4), 1985, p. 411-440.

²²⁴ DOWLING, W. Jay, "Development of musical schemata in children's spontaneous singing", *Cognitive Processes in the Perception of Art*, ed. W. R. Crozier and A. J. Chapman, Elsevier Science, 1984, p. 145-164.

²²⁵ VOLMAN, Chiel and GEUZE, Reint H., "Temporal stability of rhythmic tapping « on » and « off the beat » : A developmental study", *Psychological Research*, 63, 2000, p. 62-69.

- Le tempo affecte la performance de reproduction de patterns rythmiques. La réussite augmente avec des tempi plus rapides que plus lents²²⁶.

Synchronisation du tempo moteur spontané avec un tempo auditif externe

- Des enfants de 9 à 13 mois bougent différemment sur un tempo vif ou lent de fragments musicaux, ce qui indique qu'ils peuvent répondre de manière appropriée à des patterns temporels de séquences auditives complexes²²⁷.

- Avant 4 ans, ils sont capables d'adapter leur réponse motrice à un tempo auditif²²⁸.

- L'interaction avec un tempo auditif proche du tempo moteur spontané de l'enfant induit une accélération du rythme des frappes.

- Le tempo auditif externe perturbe le fonctionnement de l'horloge interne. Quand la stimulation est plus lente que le tempo moteur spontané, elle augmente la variabilité de l'horloge ; quand elle est plus rapide, elle accélère le rythme de l'horloge²²⁹.

- Lorsque le tempo auditif devient plus rapide que leur tempo moteur spontané, le rythme de frappe des enfants d'un an et demi et deux ans et demi n'évolue pas. A trois ans et demi, ils deviennent capables d'accélérer leur rythme de frappes à condition que le tempo auditif soit au moins 20% plus rapide que leur propre rythme. Lorsque le tempo auditif est ralenti au cours des essais, les enfants ralentissent leur rythme de frappe à partir de 20% de décélération du tempo.

- Avant 4 ans, l'enfant est capable de synchroniser avec un tempo externe seulement s'il est près de son tempo moteur spontané, autour de 400 ms, mais est incapable de frapper ou différencier des tempi en dehors de sa gamme de tempo optimal.

- A 4 ans, les enfants sont capables de modifier leur rythme de frappes en fonction d'un tempo auditif plus lent et leurs frappes sont plus régulières comparé aux enfants de deux ans et demi.

- De 4 à 10 ans, les enfants sont capables de se synchroniser avec des multiples de leur tempo moteur spontané tandis que les adultes peuvent se synchroniser facilement avec n'importe quelle périodicité de 200 à 1800 ms²³⁰.

²²⁶ GRIESHABER, Kate, "Children's rhythmic tapping : a critical review of research", *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 90, 1987, p. 73-82.

²²⁷ TREHUB, Sandra E., "Temporal Auditory Processing in Infancy", *Annals New York Academy of Sciences*, 682, 1993, p. 137-149.

²²⁸ BOBIN-BEGUE, Anne et PROVASI, Joëlle, *op. cit.*, 2008, p. 653.

²²⁹ BURLE, Boris and CASINI, Laurence, "Dissociation between Activation and Attention Effects in Time Estimation : Implications for Internal Clock Models", *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 27(1), 2001, p. 195-205.

²³⁰ DRAKE, Carolyn *et al.*, "The development of rhythmic attending in auditory sequences : attunement, referent period, focal attending", *Cognition*, 77, 2000, p. 251-288.

- **Mètre**

La perception de patterns rythmiques répétitifs, sonores et de mouvements, est cruciale en raison de sa présumée contribution à la coordination interpersonnelle ou à la synchronisation²³¹.

- La structure métrique serait apprise par exposition aux régularités statistiques d'événements musicaux²³².

- L'aptitude à maintenir un battement régulier durant une longue durée et de conserver le temps avec un métronome se développe significativement entre 5 et 7 ans²³³.

- **Régularité et pulsation**

Les compétences des auditeurs à extraire la régularité de patterns temporels est universelle, généralisée à travers les cultures, l'âge et les niveaux d'expérience musicale²³⁴.

Tâche de production

- Dans les premières chansons de l'enfant d'un an à un an et demi, le battement reste stable dans les phrases. Plus il grandit, plus la régularité du battement s'étend sur des durées plus longues, incorporant plus de phrases sans rupture²³⁵.

- Vers un an, l'enfant commence à chanter spontanément avec un modèle de pulsation stable dans les phrases²³⁶.

- Entre 1 et 2 ans, l'enfant impose une pulsation stable sur des durées de plus en plus longues²³⁷.

- Une subdivision régulière de pulsation n'apparaît probablement pas comme un principe général avant l'apprentissage de chants à la crèche²³⁸.

- Chez les enfants de 4 ans, l'organisation du rythme tend à être « locale », *i.e.* elle dépend essentiellement de la place de l'accent sur les paroles, et il n'y a pas conservation d'une pulsation régulière²³⁹.

²³¹ TREHUB, Sandra E. , "Toward a developmental psychology of music", *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 2003, p. 402-413.

²³² PALMER, Caroline and KRUMHANSL, Carol L. , "Mental representations for musical meter", *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 16(4), 1990, p. 728-741.

²³³ HARGREAVES, David, *The Developmental Psychology of Music*, Cambridge University Press, 1986.

²³⁴ DRAKE, Carolyn, "Psychological Processes Involved in the Temporal Organization of Complex Auditory Sequences : Universal and Acquired Processes", *Music Perception*, 16(1), 1998, p. 11-26.

²³⁵ DOWLING, W. Jay, *op. cit.*

²³⁶ SWANWICK, Keith and TILLMAN, June, "The Sequence of Musical Development : A Study of Children's Composition", *British Journal of Music Education*, 3(3), 1986, p. 305-339.

²³⁷ *Idem.*

²³⁸ *Id.*

²³⁹ GÉRARD, Claire, « Perception du temps et du rythme. L'enfant dispose-t-il d'une horloge interne ? », *Marsyas*, n° 8, Décembre 1988.

- Seulement environ 2/3 des enfants de 5 ans sont capables de frapper en rythme en chantant une chanson qu'ils connaissent. Leur chant est en conformité avec la mesure, mais le rappel de rythmes particuliers est inexact²⁴⁰.
- A cinq ans et demi, la pulsation entre les phrases est active dans un chant²⁴¹.
- Entre 5 et 8 ans, les rythmes dans les compositions libres sont métriquement réguliers (2, 4 ou 8 mesures). Les compositions incluent les syncopes²⁴².

Tâche de reproduction

- L'enfant de 4 ans peut reproduire un chant entier de façon plus ou moins intacte²⁴³.
- Entre 4 et 5 ans, l'enfant gagne une capacité organisationnelle pour imposer une structure régulière à des patterns rythmiquement groupés. A 5 ans, il est capable d'organiser ses reproductions suivant la pulsation sous-jacente²⁴⁴.
- Les enfants de 5 à 7 ans ont moins de difficultés à reproduire des patterns avec des rythmes qui ont un battement régulier que ceux de rythmes complexes²⁴⁵.

3.5.1.3 Aptitudes concernant la structuration du rythme

La plupart des tests rythmiques inclus dans les batteries sont centrés principalement sur des propriétés structurales²⁴⁶. La perception de la structure rythmique peut être contrôlée par production et reproduction des structures, par synchronisation, discrimination et appréhension de la forme.

« On ne peut séparer l'appréhension perceptive des groupes rythmiques de la faculté de les reproduire. Ceci valide les études de structuration faites par le moyen de la reproduction. »²⁴⁷

La discrimination d'un changement rythmique nécessite souvent des capacités d'analyse que de jeunes enfants ne possèdent pas à un niveau suffisamment développé pour pouvoir aborder ce type de tâche. Pour examiner la perception rythmique, il est possible d'avoir recours à la reproduction de structures rythmiques, ce type d'épreuves permettant également d'analyser l'influence de la composition de la structure sur la perception²⁴⁸. La

²⁴⁰ *Ibidem*.

²⁴¹ DAVIDSON, Lyle, "Songsinging by young and old : A developmental approach to music", *Musical perceptions*, ed. Rita Aiello and John A. Sloboda, Oxford University Press, 1994, p. 99-130.

²⁴² SWANWICK, Keith and TILLMAN, June, *op. cit.*

²⁴³ *Ibidem*.

²⁴⁴ ZENATTI, Arlette, *op. cit.*, 1981.

²⁴⁵ DRAKE, Carolyn and GÉRARD, Claire, "A psychological pulse train : how young children use this cognitive framework to structure simple rhythms", *Psychological Research*, 51(1), 1989, p. 16-22.

²⁴⁶ GABRIELSSON, Alf, "Rhythm in music", *Rhythm in Psychological, Linguistic and Musical Processes*, ed. James R. Evans and Manfred Clynes, Springfield, 1986, p. 159.

²⁴⁷ HIRIARTBORDE, Edmond, *op. cit.*, p. 217.

²⁴⁸ ZENATTI, Arlette, *op. cit.*, p. 19.

capacité du sujet à percevoir des formes rythmiques est évaluée d'après la fidélité de reproduction immédiate qu'il en fait. La tâche de reproduction rythmique met en jeu bien d'autres fonctions qu'une simple structuration perceptive puisqu'elle implique d'une part, une analyse du percept et sa mémorisation, d'autre part, un certain contrôle sensori-moteur. Les tests fondés sur les tâches de discrimination auditive sont principalement axés sur la comparaison entre paires d'items légèrement différents quant au paramètre ciblé. La mémoire à court terme intervient davantage dans la perception musicale que dans la perception visuelle. La capacité de mémoire immédiate peut être contrôlée, par exemple, lors de la reproduction sous forme de frappes d'une série de sons se suivant à intervalle temporel fixe. Dans les relations qu'un enfant est capable d'établir entre divers éléments, la mémoire à court terme exerce une plus ou moins grande influence qui est liée à l'importance du facteur temporel²⁴⁹.

- **Durées**

Tâche de discrimination

- Différents aspects de la connaissance du temps apparaissent au cours de la période sensori-motrice (0-2 ans). L'intervention de la durée est plus difficile à mettre en évidence que celle des successions. Les racines de la connaissance de la durée consisteraient, entre autres, dans l'expérience d'un synchronisme entre des activités propres et des activités extérieures²⁵⁰.
- Les nourrissons discriminent des changements de durées de 20 ms et plus ; les enfants de 5 ans, de 15 ms ; les adultes, de 10 ms.
- Les jugements de similarité en termes de durée s'améliorent entre 5 et 12 ans²⁵¹.
- La plus grande finesse discriminative de l'intervalle de temps entre les notes (IOI : *Inter Onset Interval*) s'obtient pour des intervalles de 600 ms au sein de cadences rythmiques sonores²⁵², le seuil différentiel étant de 1,4%. En musique, 8 à 10 ms de différence entre deux noires sont perçues. Les intervalles plus longs, de 3 ou 4 secondes, ne peuvent être traités par l'enfant que plus tardivement²⁵³.

²⁴⁹ ZENATTI, Arlette, *Influence de l'acculturation sur le développement musical de l'enfant entre 4 et 10 ans*, Thèse de doctorat, Université Paris 4, Musicologie, dir. Jacques Chailley, 1978.

²⁵⁰ MONTANGERO, Jacques, « La genèse des raisonnements et des concepts temporels », *Du temps biologique au temps psychologique*, éd. Paul Fraisse *et al.*, Paris, PUF, 1979, p. 179.

²⁵¹ STEVENS, Catherine and GALLAGHER, Melinda, "The development of mental models for auditory events : Relational complexity and discrimination of pitch and duration", *British Journal of Developmental Psychology*, 22, 2004, p. 569-583.

²⁵² FRAISSE, Paul, *Psychologie du temps*, Paris, PUF, 1957.

²⁵³ GÉRARD, Claire, « Perception du temps et du rythme. L'enfant dispose-t-il d'une horloge interne ? », *Marsyas*, n° 8, Décembre 1988.

- **Intensité**

Tâche de discrimination

Les nouveau-nés semblent préprogrammés pour identifier et réagir différemment à divers contours temporels du son. Une augmentation très rapide de l'intensité d'un son provoque un sursaut chez tous les nourrissons et les adultes. Si elle augmente un peu moins rapidement, elle évoquera la peur. Si elle augmente encore moins rapidement, elle évoquera l'intérêt. Si l'intensité augmente puis décroît, on éprouvera du plaisir. Ces réponses semblent innées mais leur présence présuppose la sensibilité du nouveau-né à la forme ou au motif des changements temporels de l'intensité du son²⁵⁴.

Tâche de production

Dans ses paroles ou ses actions, l'enfant introduit d'abord des structures temporelles ; les structures intensives apparaissent plus tardivement²⁵⁵.

- **Accents**

Tâche de production

Le rythme enfantin ne se manifeste que par le truchement de la parole et n'implique pas nécessairement la musique ; les enfants peuvent réciter sur un seul son ou scander en parlant. Ce système est très répandu dans diverses cultures et malgré les accentuations multiples des diverses langues, l'ordonnance du rythme enfantin reste la même et l'emplacement des accents est immuable²⁵⁶.

Tâche de reproduction

Avant l'âge de 7 ans, les accentuations présentes dans les modèles ne sont ni reproduites ni discriminées en tant que telles. De même que le rythme et la mélodie ne sont pas traités comme un tout avant un âge avancé, l'organisation temporelle et l'accentuation forment deux composantes séparées au sein du rythme dans la perception de l'enfant²⁵⁷.

- **Aspects figuraux ou métriques**

Tâche de discrimination

²⁵⁴ STERN, Daniel N., « Aspects temporels de l'expérience quotidienne d'un nouveau-né : quelques réflexions concernant la musique », *Le temps et la forme. Pour une épistémologie de la connaissance musicale*, éd. Etienne Darbellay, Genève, Droz, 1998, p. 167-190.

²⁵⁵ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974.

²⁵⁶ BRAILOIU, Constantin, *La rythmique enfantine : notes liminaires*, Bruxelles, Elsevier, 1956.

²⁵⁷ GÉRARD, Claire, « Perception du temps et du rythme. L'enfant dispose-t-il d'une horloge interne ? », *Marsyas*, n° 8, Décembre 1988, p. 78.

- De 2 à 4 mois, les enfants remarquent des différences rythmiques²⁵⁸ mais également les changements de tempo et de pulsation²⁵⁹.
- De 4 à 6 ans, ils témoignent de l'utilisation de deux niveaux hiérarchiques, avec une augmentation progressive de cette capacité avec l'âge. Ils sont dépendants de caractéristiques de surface du stimulus lui-même alors que les plus âgés sont capables d'extraire des niveaux hiérarchiques supplémentaires et d'organiser une activité motrice en synchronie avec eux²⁶⁰.

Tâche de production

- Les improvisations des 6-7 ans focalisent soit sur la surface (figures mélodiques/rythmiques) soit sur les structures profondes (hiérarchie tonale ou métrique), avec un début de coordination entre les deux vers 8-9 ans.
- Les relations hiérarchiques de la structure d'événements musicaux se développent comme une coordination de la surface mélodico-rythmique, du mètre et de la hiérarchie tonale²⁶¹.

Tâche de reproduction

- Quand ils reproduisent des rythmes courts sur une mesure, 14% des 5 ans et 75% des 7 ans sont attentifs à la fois aux événements de surface et à la pulsation²⁶².

Tâche de notation

- La notation de patterns rythmiques simples montre une grande variabilité des productions et la distinction entre des représentations figurale et métrique²⁶³.
- Entre 2 et 5 ans, les représentations figurales ont priorité sur les représentations métriques²⁶⁴.
- La notation d'une phrase extraite d'un chant par des enfants d'âges divers montre qu'à 5 ans, seule une dimension rythmique du pattern figure dans les dessins. Vers 6 ans, certains enfants sont capables de représenter plusieurs dimensions musicales à la fois : le dessin atteste

²⁵⁸ DEMANY, Laurent, MacKENZIE, Beryl and VURPILLOT, Eliane, "Rhythm perception in early infancy", *Nature*, 266, 1977, p. 718-719.

²⁵⁹ TREHUB, Sandra E. and CHANG, Hsing-Wu, "Auditory processing of relational information by young infants", *op. cit.*

²⁶⁰ DRAKE, Carolyn et BARUCH, Clarysse, « De la mesure de la sensibilité temporelle aux modèles d'organisation temporelle : hypothèses et données sur l'acquisition des capacités temporelles auditives », *L'Année psychologique*, 95, 1995, p. 555-569.

²⁶¹ PAANANEN, Pirkko A., « Melodic improvisation at the age of 6-11 years : Development of pitch and rhythm », *Musicae Scientiae*, 11(1), 2007, p. 89-120.

²⁶² DAVIDSON, Lyle and COLLEY, Bernadette, "Children's Rhythmic Development from Age 5 to 7 : Performance, Notation, and Reading of Rhythmic Patterns", *Music and Child Development*, ed. J.Craig Peery, Irène Weiss Peery and Thomas W. Draper, New York, Springer-Verlag, 1987, p. 105-136.

²⁶³ BAMBERGER, Jeanne, *The Mind behind the Musical Ear: How Children Develop Musical Intelligence*, London, Harvard University Press, 1991.

²⁶⁴ HARGREAVES, David, « Développement du sens artistique et musical », *Naissance et développement du sens musical*, éd. Irène Deliège et John A. Sloboda, Paris, PUF, 1995, p. 188.

l'appréhension des différentes durées de note et de leur rôle dans la pulsation générale. Vers 7 ans, cette capacité se généralise²⁶⁵.

- Quand la structure métrique est compliquée, les enfants dits « métriques » deviennent figuratifs dans leur décodage²⁶⁶.

- **Segmentation Groupement**

Chez l'enfant comme chez l'adulte, le premier processus à l'œuvre lors de l'écoute d'une surface musicale est une segmentation du flux sonore en sous-groupes. Les limites du groupement rythmique dépendent de la vitesse à laquelle se succèdent les éléments : si le tempo est trop lent, il n'y a plus de lien perçu entre les éléments ; s'il est trop rapide, il n'y a plus de nette distinction des éléments successifs²⁶⁷.

Tâche de discrimination

Des différenciations perceptives de patterns musicaux sont très précoces²⁶⁸.

- Très tôt, l'enfant différencie deux structures composées de sons qui se succèdent de façon isochrone dans l'un et non isochrone dans l'autre²⁶⁹.

- A 5 mois, deux rythmes différents sont discriminés. Le groupement est une dimension pertinente perceptivement chez ces enfants qui sont sensibles à la localisation de la pause et qui discriminent des intervalles entre les sons de 200 et 600 ms²⁷⁰.

- Les nourrissons détectent une pause insérée à l'intérieur d'un groupe de notes similaires plus facilement qu'une pause insérée entre les groupes de notes, car les pauses à l'intérieur d'un groupement rompent l'organisation perceptive du pattern et non les pauses entre les groupes²⁷¹.

- De 7 à 9 mois, des patterns auditifs sont catégorisés selon le rythme et le tempo²⁷².

- A 9 mois, un traitement s'améliore pour des rythmes métriques²⁷³.

²⁶⁵ DAVIDSON, Lyle and SCRIPP, Larry, "Young children's musical representations: Windows on music cognition", *Generative Processes in Music : the Psychology of Performance, Improvisation, and Composition*, ed. John A. Sloboda, Oxford, Clarendon Press, 1988, p. 195-230.

²⁶⁶ UPITIS, Rena, "Toward a Model for Rhythm Development", *Music and Child Development*, ed. J. Craig Peery, Irène Weiss Peery and Thomas W. Draper, New-York, Springer-Verlag, 1987, p. 54-79.

²⁶⁷ GÉRARD, Claire, « Perception du temps et du rythme. L'enfant dispose-t-il d'une horloge interne ? », *op. cit.*

²⁶⁸ TREHUB, Sandra E. and THORPE, Leigh A., *op. cit.*

²⁶⁹ Dès un mois et demi, in DEMANY, Laurent, MacKENZIE, Beryl and VURPILLOT, Eliane, "Rhythm perception in early infancy", *Nature*, 266, 1977, p. 718-719.

²⁷⁰ TREHUB, Sandra E. and CHANG, Hsing-Wu, "Auditory processing of relational information by young infants", *op. cit.*

²⁷¹ TREHUB, Sandra, "Human Processing Predispositions and Musical Universals", *The Origins of Music*, ed. Nils L. Wallin, Björn Merker, and Steven Brown, Cambridge, MIT, 2000, p. 430.

²⁷² Les enfants différencient avec succès des séquences de trois sons avec structure 1, 2 (X XX) et 2, 1 (XX X) ainsi que des séquences de quatre sons avec des structures 2, 2 (XX XX) et 3, 1 (XXX X). TREHUB, Sandra E. and THORPE, Leigh A., "Infants' Perception of Rhythm: Categorization of Auditory Sequences by Temporal Structure", p. 224.

- Le bébé segmente les sons selon les mêmes règles de groupement que l'adulte, notamment selon les principes de proximité et de similarité²⁷⁴.
- Les nourrissons peuvent reconnaître et répondre à l'ensemble de la structure temporelle d'un pattern indépendamment des durées et des hauteurs des éléments individuels²⁷⁵.
- Ils imposent des groupements rythmiques à des séquences de tons isochrones²⁷⁶.
- La discrimination entre deux rythmes est réussie par 50% des 4 ans et 85% des 5 ans.
- La reconnaissance d'un rythme d'après l'isorythmie des cellules opposées à des cellules rythmiquement hétérogènes s'améliore entre 6 et 7 ans. A partir de 7 ans, les enfants parviennent à différencier deux structures d'après la présence ou l'absence d'une isorythmie, reconnaissant une organisation au niveau des cellules rythmiques²⁷⁷.
- Dans les tâches d'écoute, on décèle de petites différences dans les aptitudes à détecter des irrégularités temporelles²⁷⁸ ou pour segmenter suivant les changements dans les durées de notes ou durée de pause entre 4 et 12 ans²⁷⁹.
- Les réussites évoluent nettement entre 6 et 9 ans dans la reproduction de structures rythmiques encore simples mais qui comprennent quelques sous-groupes. L'enfant passe successivement par l'appréhension des cadences, des unités rythmiques simples et prégnantes pour aboutir aux structures complexes²⁸⁰.

Tâche de production

- Vers 4 ans, l'enfant produit des frappes spontanées avec des groupements simples qui se séparent les uns des autres par des intervalles-pauses²⁸¹.

Tâche de reproduction

Il n'est possible de percevoir qu'un nombre limité d'éléments. C'est par la subdivision de la structure d'une figure rythmique en sous-groupes qu'une perception analytique permet de saisir un plus grand nombre de sons. Toutefois, des auteurs (M. Stambak, P. Fraisse et A. Zenatti) ne s'accordent pas sur le nombre d'éléments que peuvent reproduire les enfants à tel ou tel âge.

²⁷³ TREHUB, Sandra E., "Musical Predispositions in Infancy", p. 1-16.

²⁷⁴ DEMANY, Laurent, "Auditory stream segregation in infancy", *Infant behavior and development*, 5(2), 1982, p. 261-276.

²⁷⁵ TREHUB, Sandra E. and THORPE, Leigh A., "Infants' Perception of Rhythm: Categorization of Auditory Sequences by Temporal Structure", *op. cit.* THORPE, Leigh A., *et al.*, "Perceptual grouping by infants and preschool children", *Developmental Psychology*, 24, 1988, p. 484-491.

²⁷⁶ TREHUB, Sandra E., *op. cit.*, p. 7.

²⁷⁷ ZENATTI, Arlette, *Le développement génétique de la perception musicale*, Monographies Françaises de Psychologie n°17, Paris, Centre national de la recherche scientifique, 1969.

²⁷⁸ DRAKE, Carolyn *et al.*, "The development of rhythmic attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending", *op. cit.*

²⁷⁹ DRAKE, Carolyn and PALMER, Caroline, "Accent structures in music performance", *Music Perception : An Interdisciplinary Journal*, 10(3), 1993, p. 343-378.

²⁸⁰ STAMBAK, Mira, *Trois épreuves de rythme*, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1960.

²⁸¹ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974.

- Chez des 7 à 10 mois, la limite de compétences se situe autour de 5 éléments²⁸².
- On note un accroissement des réussites entre 4 et 6 ans. Dès l'âge de 6-7 ans, les capacités d'appréhension des enfants rejoignent celles des adultes²⁸³.
- Vers l'âge de 7 ans, la structuration temporelle d'ensembles de plus en plus longs et de plus en plus complexes ne serait acquise qu'à cet âge²⁸⁴.
- Les limites perceptives et/ou mnémoniques se situent autour de 7 + ou - 2 éléments. La taille moyenne des sous-groupes du rythme influe mais chez l'enfant, ce n'est pas tant le nombre d'éléments d'un modèle qui limite sa mémorisation que le nombre de pulsations sous-jacentes sur lesquelles il se greffe²⁸⁵.
- Plus l'enfant grandit et plus, à nombre égal d'éléments, il peut reproduire des formes diversifiées comportant plus de sous-ensembles²⁸⁶.
- La reproduction de figures composées de plusieurs groupes de sons de longueur inégale (2-1, 3-2-1 ou 4-2, etc.) évolue avec l'âge selon une double direction concernant la complexité de la structure appréhendée et le nombre de ses éléments. L'enfant de 3-4 ans peut reproduire immédiatement des formes à 3 ou 4 éléments (7 ou 8 éléments à 12 ans²⁸⁷).
- Chez des enfants de 3 à 6 ans, les réussites décroissent au fur et à mesure que le nombre d'éléments (2, 3, 4, 5) augmente. La structure comportant 3 éléments espacés est moins bien reproduite que celle avec trois éléments rapprochés, il en va de même avec 4 éléments²⁸⁸.

- **Ordre des événements**

Tâche de reproduction

- Vers 1 an, l'enfant devient capable de reproduire l'ordre de séquences dont les éléments entretiennent des relations causales.
- A près de 3 ans, il reproduit les séquences présentées en ordre inverse.
- A 4 ans, il reproduit des séquences arbitraires au sein desquelles il n'y a pas de relation causale entre les actions : il est devenu capable de se représenter l'ordre de façon abstraite²⁸⁹.

²⁸² TREHUB, Sandra E., "Temporal Auditory Processing in Infancy", 1993, p. 137-149.

²⁸³ FRAISSE, Paul, "Etude sur la mémoire immédiate. I L'appréhension des sons", *L'année psychologique*, 38(1), 1937, p. 48-85.

²⁸⁴ STAMBAK, Mira, *op. cit.*

²⁸⁵ GÉRARD, Claire, « Perception du temps et du rythme. L'enfant dispose-t-il d'une horloge interne ? », p. 78.

²⁸⁶ FRAISSE, Paul, *op. cit.*

²⁸⁷ FRANCÈS, Robert, IMBERTY, Michel, ZENATTI, Arlette, *op. cit.*, p. 157.

²⁸⁸ Reproduction de 15 structures rythmiques par des enfants de 3 à 6 ans. DUMAURIER, Elisabeth, *La perception dans le domaine sonore*, Issy-les-Moulineaux, EAP, 1990.

²⁸⁹ MONTANGERO, Jacques, « La genèse des raisonnements et des concepts temporels », p. 153.

3.5.1.4 Aptitudes concernant le mouvement du rythme

Les phénomènes liés au *mouvement* dans la musique ou dans le rythme ne donnent pas lieu à des mesures en termes d'aptitudes perceptives. Toutefois, M. Imberty souligne le caractère dynamique inhérent à la musique et montre comment, d'un point de vue développemental, la perception musicale se fonde d'abord sur une dynamique temporelle. Des *vecteurs dynamiques* rendent compte des unités de sens perçues dans le temps musical. Ce sont des éléments musicaux

« qui véhiculent des significations temporelles d'orientation, de progression, de diminution ou de croissance, de répétitions ou de retour. »²⁹⁰

Le sujet, notamment l'enfant, perçoit la musique comme un élan, une transformation sonore continue et fluide qui permet au sens d'émerger. La pensée musicale chez l'enfant est avant tout celle d'un temps continu, indivisible, irréversible, qui ne peut faire l'objet d'abstraction. Il perçoit d'abord des évolutions temporelles, la note n'apparaissant que bien après, lorsqu'il devient capable d'exercer des opérations sur un temps alors réversible. Du point de vue développemental, L. Miroudot précise que le mouvement, l'élément dynamique prime sur l'élément syntaxique ou scalaire²⁹¹. Chez les enfants de cinq ans, les structures temporelles de durée, d'intensité, d'accent prévalent sur les structures de hauteur. La perception est d'abord celle de vecteurs dynamiques avant d'être celle d'une succession de sons distincts. Le développement musical se manifesterait donc par une primauté des processus temporels lors de la perception musicale, l'enfant développant progressivement des capacités d'abstraction et de segmentation de la continuité musicale.

C. Renard estime que l'enfant est particulièrement sensible au *mouvement* du son :

« Ecouter le mouvement sonore par l'intermédiaire de son propre geste, c'est pour l'enfant écouter la sonorité dans son acte même. »²⁹²

La perception de l'enfant s'attacherait essentiellement à la forme dynamique du son, une forme sonore globale liée à un geste producteur. Par exemple, à l'écoute d'un son itératif qui aurait la forme de frappés de plus en plus forts, il retient la dynamique croissante et non le nombre de coups. D'un son qu'il entend sans en savoir la cause, il retient surtout le geste qui a pu le produire. A l'écoute d'une œuvre, il retient sa gestuelle la plus immédiate, ses dynamiques, ses ruptures. Certains gestes portent en eux une dynamique qui appelle une

²⁹⁰ IMBERTY, Michel, *Les écritures du temps. Sémantique psychologique de la musique*, Paris, Dunod, 1981, p. 91.

²⁹¹ In MIROUDOT, Laurent, , *Structuration mélodique et tonalité chez l'enfant de 4-5 ans*, Paris, L'Harmattan, 2000.

²⁹² RENARD, Claire, *Le geste musical*, Paris, Hachette - Van de Velde, 1982, p. 120.

sensation sonore, ils permettraient la mise en place d'une écoute intérieure dynamique²⁹³ qui aide l'enfant à ressentir la notion de son en *mouvement* dans le temps, à acquérir des images internes de *mouvements* sonores.

F. Delalande considère que la période de 3 à 6 ans correspond à l'âge où le symbolisme attaché au son se développe dans toutes les directions. Trois types de jeux avec le son apparaissent comme les composantes universelles des conduites musicales qui se développent au cours de la petite enfance. Dans ses premiers jeux sensori-moteurs, l'enfant explore différentes sortes de relations entre motricité et production du son. Puis une dimension de représentation et d'expression s'y ajoute dans le jeu symbolique. L'enfant traduit en sons les mouvements, les accélérations, les ralentissements et les réinterprète affectivement. F. Delalande suppose²⁹⁴ que l'origine de patterns cinétiques peut se trouver dans « l'unité de conduite » qui se manifeste dans la petite enfance, lorsqu'on peut observer des comportements simultanément cognitifs, moteurs et affectifs. On peut inciter ces jeunes enfants à figurer les sons avec les bras et les déplacements sur certaines musiques très plastiques, l'imitation développant cette relation sensorimotrice :

« Les enfants entrent dans la musique par le geste. Pour les petits de maternelle, produire des sons, c'est d'abord enchaîner des gestes. C'est ce qui retient leur attention. À tel point qu'ils ne sont pas toujours tellement gênés s'ils tapent à côté de leur instrument ! Et réciproquement la musique qu'on leur fait entendre les incite très spontanément aux mouvements. Il faut vraiment les attacher, physiquement ou moralement par la discipline, pour leur faire écouter de la musique sans bouger. »²⁹⁵

L'enfant vit ses connaissances corporellement de sorte que, selon J. L. Leroy,

« L'enfant serait d'abord sensible aux aspects des structures musicales ressortissant au domaine du sensorimoteur, les plus directement saisissables. »²⁹⁶

Le mouvement vécu est d'importance première ; par la suite, il se transmuera en imagination motrice.

Ces informations d'ordre spéculatif sont extrêmement riches et importantes concernant les aspects de *mouvement* propre à la musique tels que les enfants peuvent les ressentir et les expérimenter corporellement durant l'écoute. Elles ouvrent un champ de recherche qui reste à explorer, les observations sur les rapports entre la dynamique musicale et la dynamique corporelle n'ayant pas précisément fait l'objet d'études scientifiques dans la petite enfance.

²⁹³ *Ibidem*, p. 23.

²⁹⁴ In FERRARA, Elena et TAFURI, Johannella, « Kinetic patterns in children's responses to music », Actes de la 3^e Conférence Internationale pour la *Perception et cognition musicales*, éd. Irène Deliège, Université de Liège, Juillet 1994, p. 329.

²⁹⁵ DELALANDE, François, *La musique est un jeu d'enfant*, Paris, Buchet-Chastel, 1984, p. 40.

²⁹⁶ LEROY, Jean-Luc, *Le vivant et le musical*, Paris, L'Harmattan, 2005, p. 232.

3.5.2 Aptitudes graphomotrices

Elles sont déclinées selon les aptitudes motrices générales, en lien avec le développement du rythme et le développement graphique qui sera ensuite présenté avec la graphomotricité et ses constituants moteurs, perceptifs et idéatoires.

3.5.2.1 Développement moteur

H. Wallon a souligné le rôle du mouvement dans le développement psychologique de l'enfant²⁹⁷ et présenté l'action comme phase première de l'acquisition des connaissances.

« La pensée semble bien avoir été mimée, avant d'être parlée. »²⁹⁸

La motricité humaine permet à l'enfant d'agir dans le réel extérieur pour le transformer et pour s'y exprimer. Elle a une double fonction, effectrice lorsque les actions du sujet visent à saisir, manipuler, transformer les objets pour obtenir le résultat désiré, expressive lorsque le sujet extériorise ses émotions. Le mouvement a trois formes qui ont chacune leur importance dans l'évolution psychologique de l'enfant, qui s'impliquent plus ou moins entre elles et se conditionnent mutuellement. Le mouvement peut être passif ou exogène, *i.e.* sous la dépendance de forces extérieures comme la pesanteur. Dans ce cas, il provoque des réactions secondaires de compensation ou de rééquilibre qui sont réglées par un appareil très archaïque et peuvent se manifester dès la période prénatale. Il peut être un déplacement autogène ou actif soit du corps lui-même dans le milieu extérieur (locomotion), soit d'objets qui s'y trouvent (préhension), ou encore être un déplacement de segments corporels ou de leurs fractions, les uns par rapport aux autres.

Différentes formes d'activités peuvent coexister mais à chaque âge, il en est une qui prend le pas sur les autres, entraînant un changement et un enrichissement spécifiques dans les relations de l'enfant avec l'environnement. Au stade émotionnel, un certain type de rapports avec le milieu est dominant et donne au comportement de l'enfant un style particulier. Chez le nouveau-né, les mouvements ressemblent à de simples décharges inefficaces de l'énergie musculaire. Cette agitation est suscitée par les besoins de l'enfant, par ses états de bien-être ou de malaise. Les premiers gestes qui lui sont utiles sont des gestes d'expression. L'émotion tend vers la représentation par les attitudes et les simulacres qu'elle met en jeu. Au stade sensori-moteur, le résultat des activités de l'enfant est de lier plus

²⁹⁷ WALLON, Henri, « Importance du mouvement dans le développement psychologique de l'enfant », *Enfance*, n°9-2, 1956, Paris, p. 1-4.

²⁹⁸ WALLON, Henri, *Les origines de la pensée chez l'enfant*, Paris, Quadrige/PUF, 1945/1989, p. 313.

étroitement le mouvement à ses conséquences sensibles, d'opérer un repérage précis des données sensorielles et de rendre possible une perception plus discriminative des excitations causées par les objets extérieurs. L'activité sensori-motrice passe par différents niveaux. Lors d'une première phase subjective, l'acte de préhension est d'abord peu différencié puis devient une palpation vers 10 mois et s'achève en une manipulation où l'activité de chaque main est complémentaire de l'autre. Au stade projectif, le mouvement va devenir l'accompagnement de représentations mentales et servir de support dynamique ou descriptif.

« A ce stade, l'enfant s'exprime autant par des gestes que par des mots, où il paraît vouloir mimer sa pensée facilement défaillante et en distribuer les images dans son environnement actuel [...] même il usera parfois de simulacres à l'appui de son récit. »²⁹⁹

Le mouvement n'intervient pas seulement dans le développement psychique de l'enfant, il influence aussi son comportement habituel. Il est un facteur important de son tempérament. Chaque individu a une complexion motrice personnelle qui dépend des réglages variables de ses différentes activités musculaires.

Couplage perception-action et cognition

Le rôle du mouvement est central dans le développement de la perception et de la cognition. En 1937, J. Piaget précise³⁰⁰ que chez l'enfant la connaissance fondamentale sur le monde est inextricablement liée à l'action. La manipulation, l'exploration active et le mouvement paraissent associés à la pensée de l'enfant et nécessaires à la construction de ses représentations mentales, en particulier au stade préopérateur³⁰¹. L'intelligence procède de l'action en son ensemble, en tant que transformant les objets et le réel, et la connaissance est essentiellement assimilation active et opératoire.

« Chez les petits, l'intelligence pratique précède l'intelligence réfléchie, et celle-ci consiste, pour une bonne part, en une prise de conscience des résultats de celle-là. »³⁰²

L'apprentissage sensori-moteur précoce est donc considéré comme base du développement intellectuel. L'enfant explore son environnement par des moyens actifs et physiques dans le but de le connaître complètement. Le mouvement n'est pas accessoire à l'apprentissage mais une part d'un ensemble perceptuel qui constitue la base de catégorisation et de re-catégorisation.

²⁹⁹ WALLON, Henri, « Importance du mouvement dans le développement psychologique de l'enfant », *Enfance*, n°9-2, 1956, Paris, in WALLON, Henri, *Les origines de la pensée chez l'enfant*, p. 4.

³⁰⁰ PIAGET, Jean, *op. cit.*, 1937, p. 237.

³⁰¹ PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel, *op. cit.*, p. 33.

³⁰² PIAGET, Jean, *Ibidem*.

Dans de récentes recherches en psychologie développementale, E. Thelen et L. B. Smith confirment que la pensée croît de l'action. Elles expliquent comment, dans le cadre de systèmes dynamiques, l'activité est le moteur du changement³⁰³. La cognition précoce est de nature dynamique : ce que le nourrisson sait et la manière dont il agit est sélectionné continuellement et dynamiquement à partir de ce qu'il rencontre et de sa façon d'agir. L'intégration sensorielle est donc la primitive et non la dérivée³⁰⁴. La connaissance est dynamiquement acquise, emmagasinée et rendue³⁰⁵. Le nouveau-né est capable de reproduire des modèles dynamiques mais pas des positions statiques³⁰⁶. Le couplage étroit au début de la vie entre perception, action et cognition demeure par la suite mais il acquiert une souplesse adaptative. Les adultes sont compétents par une pensée logique et abstraite mais également par le traitement direct du monde, avec une capacité à passer rapidement et de façon transparente entre ces deux modes.

Apprentissages moteurs³⁰⁷ et coordination auditivo-motrice

Etre synchronisé avec son environnement est vital pour le développement cognitif, émotionnel et sensori-moteur du jeune enfant. Dans les premières étapes du développement, les coordinations auditivo-kinesthésiques jouent un rôle important dans la genèse du rythme. Elles se manifestent presque aussi tôt que les mouvements automatiques issus des rythmes endogènes. On trouve fréquemment chez les enfants des polyrythmies spontanées telles que des sautillés de ronde, d'imitation (par exemple le trot ou le galop) ou de trouvailles

³⁰³ L'approche des systèmes dynamiques permet à la fois d'expliquer comment les individus acquièrent de nouveaux patterns d'activité de bas niveau et comment ils acquièrent des patterns d'activité d'un ordre supérieur, comme la capacité à catégoriser. Selon E. Thelen, les capacités d'un nourrisson à acquérir le contrôle de son corps pour effectuer des activités le rendent également apte à apprendre simultanément certaines catégories. Il apprend qu'une catégorie de forces dynamiques est appropriée pour certaines classes de tâches, de sorte qu'il commence à associer certains patterns de force à des événements particuliers dans le monde. Ainsi, il apprend quand il est approprié de générer à nouveau certains patterns d'activité pour atteindre un but. Pour réaliser ces comportements au moment approprié, il doit apprendre à catégoriser des situations particulières et appliquer correctement la solution de l'action qui correspond à cette situation. THELEN, Esther, "Timing and Developmental Dynamics in the Acquisition of Early Motor Skills", *Developmental Time and Timing*, ed. Gerald Turkevitz and Darlyne A. Devenny, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 1993, p. 85-104. THELEN, Esther and SMITH, Linda B., *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*, Cambridge, MIT Press, 1994. SMITH, Linda B. and THELEN, Esther, "Development as a dynamic system", *TRENDS in Cognitive Sciences*, 7(8), August 2003, p. 343-348. Leurs travaux portent sur la compréhension de la façon dont des nourrissons de 3 semaines à 1 an apprennent à « atteindre » les objets. Les auteurs montrent que chaque enfant est capable de dépasser ces obstacles développementaux et d'apprendre à attraper un jeu mais la manière dont chacun apprend varie selon les problèmes spécifiques qu'il rencontre.

³⁰⁴ La théorie prédit que les catégories perceptives et les recatégorisations (mémoires et concepts) devraient être plus facilement établies dans des modalités où la possibilité de l'exploration existe car celle-ci fournit des cartographies riches et disjointes qui facilitent la formation des groupes neuronaux et leur stabilisation.

³⁰⁵ La connaissance est principalement limitée non par les déficits d'emmagasinage mais dans la capacité à bien échantillonner et donc à catégoriser le monde.

³⁰⁶ VINTER, Annie, *L'imitation chez le nouveau-né*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1985, p. 100.

³⁰⁷ GOUTEL, Monique, « Développement psychomoteur et apprentissage moteur de l'enfant de 4 ans à 8 ans », *Marsyas*, n°31, septembre 1994, p. 83-89.

personnelles. Ce jeu fonctionnel allie plaisir des mouvements rythmiques et recherche d'une amélioration des contrôles moteurs de l'équilibre, d'une diversification des formulations motrices dans les déplacements corporels³⁰⁸. La première manifestation rythmique que l'on observe chez le jeune enfant est souvent le balancement de la tête, voire du tronc ou du corps. A propos des mouvements spontanés, le balancement est manifeste par le battement de pied du nouveau-né qui apparaît vers 2,7 mois. Vers 6 mois, dès que l'enfant peut rester assis, le balancement du tronc apparaît. Ces mouvements sont généralement transitoires mais chez certains, ils peuvent durer parfois jusque 2-3 ans et même jusque 5 ans. On rencontre d'autres formes de balancement chez l'enfant plus âgé (*i.e.* mouvements de jambes lorsqu'ils sont assis). Ces balancements apparaissent dans la gamme des tempos spontanés, la fréquence dépendant de la masse musculaire concernée³⁰⁹.

Tempo moteur spontané

En tant que vitesse des frappes spontanées d'un sujet établie suivant la moyenne de l'intervalle entre deux frappes successives, le tempo moteur spontané est un indicateur de la possibilité d'un mouvement régulier. Il a les caractéristiques de régularité pour un sujet donné et de variabilité d'un sujet à l'autre. Les vitesses naturelles de frappe s'échelonnent entre 380 et 880 ms d'intervalle inter-frappes³¹⁰, la valeur de 600 ms étant la plus représentative³¹¹. Ce tempo ralentit au fil de l'âge :

Âge (ans)	De 1 ½ à 4 ½	5	7-8	+ de 10	adulte
Tempo Moteur Spontané (valeur moy. en ms)	400	500	560	600	750

Tableau 22: Valeur du tempo moteur spontané selon l'âge

Sur un plan développemental³¹², le tempo moteur spontané évolue selon les étapes suivantes. Dès un an et demi, il existe un tempo endogène : les enfants sont capables de produire spontanément un rythme de frappes régulier en l'absence de tout indice temporel. Entre un an et demi et trois ans et demi, la période de référence reste constante mais gagnerait en stabilité. La régularité des frappes augmente³¹³. Les différences interindividuelles de la valeur de ce tempo augmentent avec l'âge.

La gamme de tempi moteurs utilisés varie selon l'âge. L'attention des bébés et des jeunes enfants est spontanément focalisée sur des événements plus rapides. Les enfants les

³⁰⁸ HIRIARTBORDE, Edmond, *op. cit.*

³⁰⁹ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1982, p. 152.

³¹⁰ GÉRARD, Claire, « Perception du temps et du rythme. L'enfant dispose-t-il d'une horloge interne ? », p. 78.

³¹¹ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974.

³¹² BOBIN-BEGUE, Anne et PROVASI, Joëlle, *op. cit.*, 2005, p. 631-658.

³¹³ Elle est essentiellement liée à une diminution de la variabilité motrice avec l'âge.

plus jeunes utilisent une gamme de tempi plus restreinte que les plus âgés : la différence moyenne entre les tempi les plus lents et les tempi les plus rapides utilisés augmente progressivement avec l'âge. L'enfant de moins de quatre ans a un oscillateur de résonance disponible dont la courbe de résonance est extrêmement limitée. Cette résonance ralentit progressivement et devient plus large, accroissant la gamme des tempi accessibles³¹⁴ :

Âge (ans)	De 4 à 6	8	10	adulte
Etendue de la gamme de TMS (en ms)	400	750	1000	1550

Tableau 23: Gamme de tempo moteur spontané selon l'âge

Le tempo moteur spontané subit des modifications. Il existe un seuil de modification des comportements qui est comparable en perception et en production³¹⁵. A trois ans et demi, les enfants parviennent à accélérer leur rythme de frappes, suggérant un développement de cette capacité à produire d'autres valeurs d'intervalles temporels que leurs propres valeurs. Pour le jeune enfant, il est plus facile d'accélérer son propre rythme que de le ralentir. Une des interprétations possibles peut être la difficulté d'inhiber un comportement moteur³¹⁶. La production d'intervalles plus longs que le tempo moteur spontané ne semble possible qu'après trois ans et demi.

Activité motrice et éducation rythmique

Le mouvement de l'enfant dans l'activité d'écoute musicale est reconnu d'une grande importance par de nombreux éducateurs et psychologues. Il semble constituer une dimension fondamentale de l'environnement initial qui aide l'enfant à construire la notion de temps en organisant et structurant des concepts clefs de durée, succession, ordre, rythme, alternance.

Généralement, l'activité motrice a une place très importante dans l'éducation.

« La participation active la plus complète pour l'élève dans n'importe quelle situation est sans aucun doute la participation physique et motrice. De toute évidence, les enfants aiment les activités de mouvement, les déplacements et les manipulations et y investit toute sa capacité d'attention. »³¹⁷

Diverses raisons peuvent expliquer l'attirance de l'enfant pour l'action. Vivre des expériences motrices répond à un besoin fondamental d'exercer ses capacités d'action, à l'instar de tous les mammifères immatures qui passent une grande partie de leur temps à

³¹⁴ DRAKE, Carolyn et BARUCH, Clarysse, « De la mesure de la sensibilité temporelle aux modèles d'organisation temporelle : hypothèses et données sur l'acquisition des capacités temporelles auditives », p. 555-569.

³¹⁵ BOBIN-BEGUE, Anne and PROVASI, Joëlle, *op. cit.*

³¹⁶ HULSEBUS, R. C., "Operant conditioning of infant behavior : a review", *Advances in Child Development and Behavior*, ed. Hayne W. Reese, New York Academic Press, 7, 1973, p. 112-157.

³¹⁷ PAOLETTI, René, *Education et Motricité, L'enfant, de 2 à 8 ans*, Gaëtan Marin Editeur, 1999, p. 132.

développer, à travers leurs jeux, des habiletés qui seront les fondements de leurs comportements d'adultes. Le mouvement satisfait cette curiosité innée qui incite l'enfant, dès son plus jeune âge³¹⁸, à explorer le monde qui l'entoure.

L'action est un moyen privilégié de mettre à l'épreuve et de remanier le savoir et les savoir-faire. Par les tâtonnements qu'elle suppose, l'activité motrice dans laquelle un sujet s'engage pour relever un défi ou pour résoudre un problème donne lieu à des rétroactions qui informent sur les effets des actions entreprises, inspirent de nouvelles manières de percevoir le problème, engendrent de nouvelles stratégies de résolution et réorientent constamment l'apprentissage spontané ou dirigé. L'expérimentation motrice a par ailleurs une dimension ludique et attirante qui prédispose l'enfant à aborder l'activité d'apprentissage positivement. Elle favorise l'assimilation des acquisitions, et remplit une fonction de renforcement dans l'ensemble du processus d'apprentissage. Les scénarii pédagogiques qui y font appel sont accueillis avec beaucoup d'intérêt par les élèves qui abordent la situation d'apprentissage dans un esprit d'éveil optimal favorable aux activités cognitives subséquentes. Les enfants sont enclins à soutenir leur attention plus longtemps, ce qui les rend moins vulnérables aux distractions auxquelles le spectateur passif succombe souvent. Toutefois, l'implication motrice ne garantit pas une concentration continue à toute épreuve. Il importe que l'activité soit adaptée à son niveau de développement. On note que l'activité motrice permet de retenir un contenu d'apprentissage car en enrichissant le perçu, l'action influence le processus de mémorisation. A la trace mnésique d'origine auditive et visuelle de l'expérience d'apprentissage s'ajoute la mémoire motrice.

De nombreux psychologues de la musique s'accordent sur l'importance du mouvement dans l'éducation du rythme qui se présente

« [...] tout à la fois comme une éducation du mouvement, une éducation perceptive et une coordination du geste et du son. »³¹⁹

B. M. Teplov lie l'aspect moteur et l'affectivité du rythme avec le sens musico-rythmique qui

« [...] se caractérise comme une aptitude à ressentir activement la musique (à la refléter de façon motrice) et par suite à sentir finement l'expressivité affective du cours temporel du mouvement musical. »³²⁰

³¹⁸ Tous les nourrissons, aussitôt qu'ils en ont la possibilité, cherchent à entrer en contact actif avec les objets de leur environnement pour les soumettre à diverses manipulations allant de l'appropriation simple à des activités de transformation plus complexes. *Idem*, p. 133.

³¹⁹ FRAISSE, Paul, *op. cit.*, 1974, p. 238.

³²⁰ TEPLOV, Boris Mikhailovich, *op. cit.*, p. 352.

L'utilisation de procédés médiats pour développer le sens du rythme lui paraît inadéquate car ce sens ne peut ni s'éveiller ni se développer en dehors de la musique. L'élève doit sentir le *mouvement* rythmique, en avoir une image globale et non un schéma arithmétique³²¹. En 1986, A. Gabrielsson précise que le traitement du rythme par des mouvements corporels accompagnant la musique fournit une compréhension sensori-motrice fondamentale de nombreux concepts musicaux – tempo, pulsation, accents, groupement, phrasé, dynamiques et rythme – bien avant leur apprentissage verbal. En outre,

« Il est tentant de croire que cela contribue naturellement à la compréhension des aspects de mouvement et des aspects émotionnels du rythme qui est absente dans l'entraînement rythmique lorsqu'il est basé uniquement sur les patterns notés. Dans ces derniers, l'accent est mis sur les aspects de structure – mètre correct, accents, exactitude des subdivisions, ... qui peuvent mener à des performances très 'exactes' mais sans vie et ennuyeuses. »³²²

Un juste équilibre entre les aspects structuraux notés et les aspects émotionnels et de mouvement semble être la meilleure alternative pour l'entraînement rythmique.

Dans le champ de l'éducation musicale, la production de mouvements corporels est communément utilisée dans l'objectif d'apprendre des patterns rythmiques, ce qui suppose un lien étroit entre perception du rythme et mouvement. Parmi les grandes méthodes pédagogiques du XX^e siècle, les méthodes dites historiques³²³ mettent en avant les aspects perceptifs et moteurs de la musique. Ces méthodes trouvent leur fondement dans le concept de méthodes actives :

« Les théories pédagogiques entendent par l'expression 'méthodes actives', une technique d'apprentissage sous-tendue par l'expérience sensitive et motrice de l'apprenant. Selon cette conception, toute connaissance acquise reposerait sur la stimulation récurrente du système sensoriel ou musculaire par des actions ou des objets suscitant l'intérêt ludique de l'élève. Il découle de cette position des stratégies d'apprentissage fondées sur l'attitude participative de l'élève. Au lieu d'assister au déroulement d'un savoir établi, préparé à son intention, l'apprenant s'implique activement dans le processus d'apprentissage. »³²⁴

L'esprit des méthodes actives se manifeste dans toute situation où l'élève est amené à « faire » bien avant d'apprendre la théorie. Le canal privilégié conduit de la sensori-motricité à l'intellectualisation, ce dont s'inspirent les principales méthodes d'apprentissage qui mettent en exergue l'importance du rythme dans l'éducation musicale. Vers 1920, E. Jaques-

³²¹ Toutefois, B. M. Teplov ne condamne pas « un compter de direction » car cette pratique tend à maintenir la régularité immuable du mouvement rythmique qui est toujours en tension avec la dynamique émotive.

³²² GABRIELSSON, Alf, *op. cit.*, p. 159.

³²³ DERIU, Rosalba, « Pédagogie de l'éducation musicale dans la seconde moitié du XX^e siècle », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 2, Les savoirs musicaux*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 854.

³²⁴ DAUPHIN, Claude, « Les grandes méthodes pédagogiques du XX^e siècle », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 2, Les savoirs musicaux*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 831.

Dalcroze³²⁵ conçoit une théorie d'enseignement de la musique fondée sur l'idée que le rythme est incarné et exprimé par le mouvement. Sa méthode *rythmique* s'adresse simultanément aux facultés auditives et motrices³²⁶ :

« Les sensations auditives doivent être complétées par des sensations musculaires. »³²⁷

Il considère que l'interaction entre l'audition et le mouvement corporel est le procédé idéal pour parvenir à la conscience des structures musicales et de leurs potentialités expressives. Les rythmes musicaux (phrasés, nuances, durées, *etc.*) sont mis en relation avec les mouvements du corps et avec les capacités d'imagination et de réflexion de l'élève pendant une période assez longue pour que se crée et s'imprime dans l'organisme *l'image motrice* du rythme. La méthode de Z. Kodaly³²⁸ emprunte à celle de E. Jaques-Dalcroze les divers éléments de mouvement rythmique avec quelques adaptations³²⁹. Les principes rythmiques fondamentaux sont l'association syllabe-rythme, l'association rythme-chants populaires, l'ordre d'apprentissage des éléments et l'audition intérieure. C. Orff³³⁰ fonde sa méthode sur l'unité de la musique, de la danse et de la parole. La découverte du langage musical est calquée sur la progression de l'apprentissage de la langue, parler-lire-écrire. La méthode M. Martenot³³¹ se présente comme une initiation à la lecture musicale conventionnelle par le biais des pédagogies actives. Le rythme étant considéré comme « l'élément vital » de la musique, l'éveil des facultés rythmiques est placé dès l'âge préscolaire. La méthode suit six étapes³³² qui permettent de développer le sens pulsatoire, de régulariser toute subdivision des durées grâce à ces pulsations de référence et enfin d'aborder la notion de rythme dissocié de la mélodie mais énoncé par des articulations vocales, sur des onomatopées³³³. Par ailleurs, M. Martenot est convaincu de la nécessité d'adapter le tempo musical au tempo physiologique de l'enfant, soit 110-120 à la noire. Pour sa part,

³²⁵ Compositeur et pédagogue suisse (1865-1950), Emile JAQUES-DALCROZE enseigne la théorie musicale au conservatoire de Genève à partir de 1892. En 1911, il fonde à Hellerau, près de Dresde, une école pour la « gymnastique rythmique », basée sur l'*eurhythmie*, une nouvelle méthode rythmique.

³²⁶ Le maître exécute au piano et les élèves bougent en réaction aux traits musicaux perçus.

³²⁷ JAQUES-DALCROZE, Emile, *Le rythme, la musique et l'éducation*, Paris, Fischbacher, 1920, rééd. Foetisch, Genève, 1965, p. 48.

³²⁸ Compositeur, ethnomusicologue et pédagogue hongrois, Zoltan Kodaly (1882-1967) accomplit autour des années 40 une réforme radicale de l'enseignement musical dans son pays.

³²⁹ Les percussions naturelles peuvent être relayées par toutes sortes d'instruments ; les exercices rythmiques sont toujours liés au chant mais jamais accompagnés au piano.

³³⁰ Compositeur allemand, Carl Orff (1895-1982) fonde à Munich en 1924 la *Günterschule*, école de gymnastique, de musique et de danse, rejoignant les travaux d'E. Jaques-Dalcroze.

³³¹ Pianiste et inventeur de l'instrument électronique à clavier appelé *ondes Martenot* (1928), Maurice Martenot (1898-1980) résume sa philosophie de l'éducation musicale dans la devise « L'esprit avant la lettre, le cœur avant l'intellect ».

³³² Emploi du rythme à l'état pur ; répétition par imitation de formules brèves ; observation du tempo naturel ; indépendance entre pulsation-jalon et formule rythmique ; précision rythmique ; expression de l'état vital.

³³³ Ce procédé d'énonciation des formules rythmiques vise à éduquer les muscles de l'appareil verbal afin de favoriser une représentation mentale des éléments musicaux.

E. Willems³³⁴ a laissé une œuvre de réflexion abondante en matière de pédagogie musicale. Il estime que le rythme vient en premier lieu comme un des éléments fondamentaux de la musique et attire l'attention sur l'importance de l'éducation sensorielle et de l'éveil de l'instinct rythmique.

3.5.2.2 Développement graphique

Les aspects développementaux de l'activité graphique sont présentés ici selon ses constituants moteurs, perceptifs et idéatoires. Toutefois, l'attention est focalisée sur l'aspect dynamique de l'activité graphique *via* les données de la graphomotricité établies à partir de corpus d'enfants ayant fréquenté l'école maternelle. Ces données permettent d'indiquer les principales étapes par lesquelles l'enfant de 5-6 ans est généralement passé et de préciser le répertoire de mouvements et de traces graphiques qu'il a acquis.

L'étude de l'acte graphique dépasse amplement l'étude du développement graphomoteur de l'enfant. Le contrôle nécessaire relève à la fois du contrôle moteur mais aussi, pour une large part, du contrôle idéatoire et émotionnel. L'activité graphique commence vers 10 mois, lorsque l'enfant laisse ses premières traces. Le but de cette activité est

« [...] la réalisation de tracés dont l'étude peut se faire à trois niveaux selon qu'elle porte sur le mouvement, la forme ou le contenu graphique. »³³⁵

Trois fonctions, motrice, perceptive et symbolique, président à l'évolution de l'acte graphique. Quelle que soit la production graphique, on observe chez l'enfant des complicités et des alternances entre ces trois niveaux d'activité :

« L'activité de l'enfant s'étire dans un dialogue où alternent différents constituants, par exemple la contribution motrice, la perception de l'action et l'ajustement idéatoire. »³³⁶

Ces trois constituants sont imbriqués, chacun étant conséquence et condition de l'autre. Il est réducteur de les dissocier, mais il serait trop confus de les présenter dans leurs imbrications au cours du développement.

- **Constituant moteur de l'activité graphique**

L'étude des constituants moteurs de l'activité graphique renvoie à la graphomotricité³³⁷, une fonction qui permet de tracer sur un support un message en combinant

³³⁴ Pédagogue suisse né en Belgique, Edgar Willems (1890-1978) apporte une grande contribution à l'éducation musicale moderne, surtout en ce qui concerne les aspects psychologiques et l'activisme de la méthode.

³³⁵ LURÇAT, Liliane, *Etudes de l'acte graphique*, Paris, Mouton, 1974, p. 13.

³³⁶ RAFFIER-MALOSTO, Jocelyne (dir.), *Le dessin de l'enfant, De l'approche génétique à l'interprétation clinique*, Paris, La pensée sauvage, 1996/2004, p. 15.

les mouvements de la main et du bras. Ceux-ci sont liés à des éléments moteurs, spatio-temporels et visiokinesthésiques d'essence psychomotrice.

Aspect moteur des premières traces

Etudier la motricité graphique et l'organisation du mouvement dans l'acte graphique revient à s'intéresser aux aspects dynamique et cinématique de l'activité graphique³³⁸ : la force, à l'origine du mouvement, donne l'impulsion et représente l'aspect dynamique de l'acte graphique qui est l'origine du contrôle des différentes positions du bras et provient de données kinesthésiques ; le déroulement du mouvement représente l'aspect cinématique, reproduit les formes et la direction et provient de données visuelles. L'organisation du mouvement dans l'acte graphique n'est pas innée. Chronologiquement, l'enfant commence par produire des tracés sans signification, puis il dessine des lettres droites ou en miroir, de direction droite ou gauche. Ce n'est qu'en dernier lieu qu'il est capable de contrôler les aspects dynamiques et cinématiques de l'acte graphique, lorsqu'il commence l'apprentissage de l'écriture.

L. Lurçat établit les acquisitions sur le plan moteur³³⁹. Dans une perspective génétique, elle étudie le mouvement en recherchant la transposition du geste dans le tracé. Elle analyse l'évolution du contrôle du geste chez le jeune enfant et le rôle important de la maturation neuro-musculaire, mettant en évidence les rôles respectifs de la kinesthésie³⁴⁰ et du contrôle visuel dans la genèse de l'acte graphique. Les tracés produits au cours d'une période qui précède le contrôle visuel des formes sont caractéristiques du niveau moteur³⁴¹ : l'activité graphique est régie essentiellement par la kinesthésie ; le tracé est l'enregistrement des mouvements de l'enfant.

D'après P. Osterrieth et P. Oléron, l'évolution graphique de l'enfant apparaît également comme étroitement tributaire du développement cognitif. Les auteurs ont intégré une phase initiale de gribouillage ou griffonnage, de 2 à 4 ans, aux étapes du schématisme décrites par G. H. Luquet³⁴², estimant que

« Maculer, laisser sa trace, c'est produire un effet extérieur à soi-même, c'est dans une certaine mesure modifier le milieu, transformer ce sur quoi on agit en imposant sa marque ; c'est peut-être même, en un sens primitif, se l'approprier. C'est en tout cas, si nous observons

³³⁷ La graphomotricité est la connaissance scientifique de la fonction, de la formation et des lois d'évolution de l'écriture. TAJAN, Alfred, *La graphomotricité*, Que sais-je ?, Paris, PUF, 1982.

³³⁸ *Ibidem*, p. 21.

³³⁹ LURÇAT, Liliane, « Genèse de l'acte graphique », *Bulletin de psychologie*, n°8, Janvier 1966, p. 506-515. *Idem*, *Etudes de l'acte graphique*, Paris, Mouton, 1974.

³⁴⁰ La kinesthésie renseigne sur les positions de notre corps dans l'espace et sur les positions respectives de nos membres ainsi que sur leurs changements. « L'activité graphique du jeune enfant, écrit Liliane Lurçat, est presque entièrement régie par la kinesthésie. Il n'y a pas encore de spécialisation hémisphérique de l'activité graphique. Cette spécialisation apparaît avec le contrôle qui est de nature kinesthésique et visuelle. » TAJAN, Alfred, *op. cit.*, p. 15.

³⁴¹ *Ibidem*, p. 199.

³⁴² LUQUET, Georges-Henri, *Le dessin enfantin*, Paris, Delachaux et Niestlé, 1927/1972.

l'enfant, l'affirmation triomphante de son existence, de son pouvoir, dans le libre jeu fonctionnel de son organisation motrice, de sa gesticulation. »³⁴³

Cette phase, fondamentale dans le développement graphique de l'enfant, comporte deux étapes. La production de tracés par gesticulation traçante correspondant à une décharge motrice, sans intention figurative est suivie par l'apparition d'éléments représentatifs, révélés surtout par les verbalisations et l'entrée en jeu de la fonction symbolique.

Si le graphisme débute à un âge différent pour chaque enfant, initialement, l'élément moteur prime. La multiplication, la généralisation des griffonnages et le plaisir qui se rattache à cette activité sont en rapport avec le mouvement lui-même. Le très jeune enfant ne se soucie guère des tracés qu'il produit, ce qui compte c'est « le mouvement pour le mouvement »³⁴⁴. L'étude des rapports entre le mouvement et le tracé part de l'existence d'un espace moteur et de sa projection dans l'espace graphique. Si l'on considère l'acte graphique comme le résultat de mouvements de plus en plus perfectionnés, il paraît nécessaire de partir d'une conception d'ensemble des mouvements, et donc de considérer l'espace des mouvements. Cette idée est explicitée par H. Wallon :

« Un mouvement quelconque ne peut être distingué de sa projection dans l'espace. Son orientation appartient à sa structure. Il y a un espace moteur, contrairement à l'opinion commune, qui unit des niveaux fonctionnels différents et en fait une réalité immuable, nécessaire, s'imposant d'elle-même et en une fois. Il n'y a pas lieu d'opposer le mouvement à un milieu en soi où il y aurait à trouver secondairement ses déterminations locales. Il implique par son existence même le milieu où il doit se déployer. Il n'est pas tâtonnant d'emblée, il le devient par expérience. »³⁴⁵

Les mouvements se réalisent dans un espace qui leur est propre, l'espace de configuration. L'espace des mouvements graphiques est l'espace de configuration du bras. Le contrôle du mouvement est kinesthésique. Il s'exerce dans l'espace de configuration et porte sur l'ensemble des degrés de liberté mis en jeu dans le mouvement.

Les tracés sont considérés comme la projection de mouvements dans l'espace graphique qui est fonctionnel, orienté³⁴⁶, limité, homogène et à deux dimensions. Le contrôle des tracés est visuel. Il s'exerce dans l'espace graphique et ne porte que sur une partie des degrés de liberté. La prise en charge visuelle de l'activité graphique est un facteur essentiel dans l'évolution des tracés et modifie les propriétés fondamentales de l'activité graphique.

L'espace moteur entretient des rapports à l'espace graphique via les tracés. L'activité graphique est considérée comme la projection de l'espace du corps dans l'espace graphique.

³⁴³ OSTERRIETH, Paul Alexandre et OLÉRON, Pierre, *Traité de psychologie de l'enfant, Les modes d'expression*, Paris, PUF, 1976, p. 26.

³⁴⁴ *Ibidem*, p. 27.

³⁴⁵ WALLON, Henri, *L'évolution psychologique de l'enfant*, Paris, Armand Colin, 1941/2002, p. 135.

³⁴⁶ La droite, la gauche, le « haut », le « bas ».

Cette phase correspond à la production de gribouillages, activité qui apparaît sous la forme de décharges motrices et de remplissage et durant laquelle l'enfant ne peut que projeter son espace gestuel³⁴⁷ dans l'espace graphique. R. Kellogg observe des gribouillages effectués par des enfants d'âge préscolaire dans de nombreux pays et répertorie vingt formes fondamentales dont G. Haag distingue chronologiquement trois catégories de traces préfiguratives³⁴⁸, le balayage simple, le pointillage et les spirales, jusqu'à la fermeture du cercle vers trois ans :

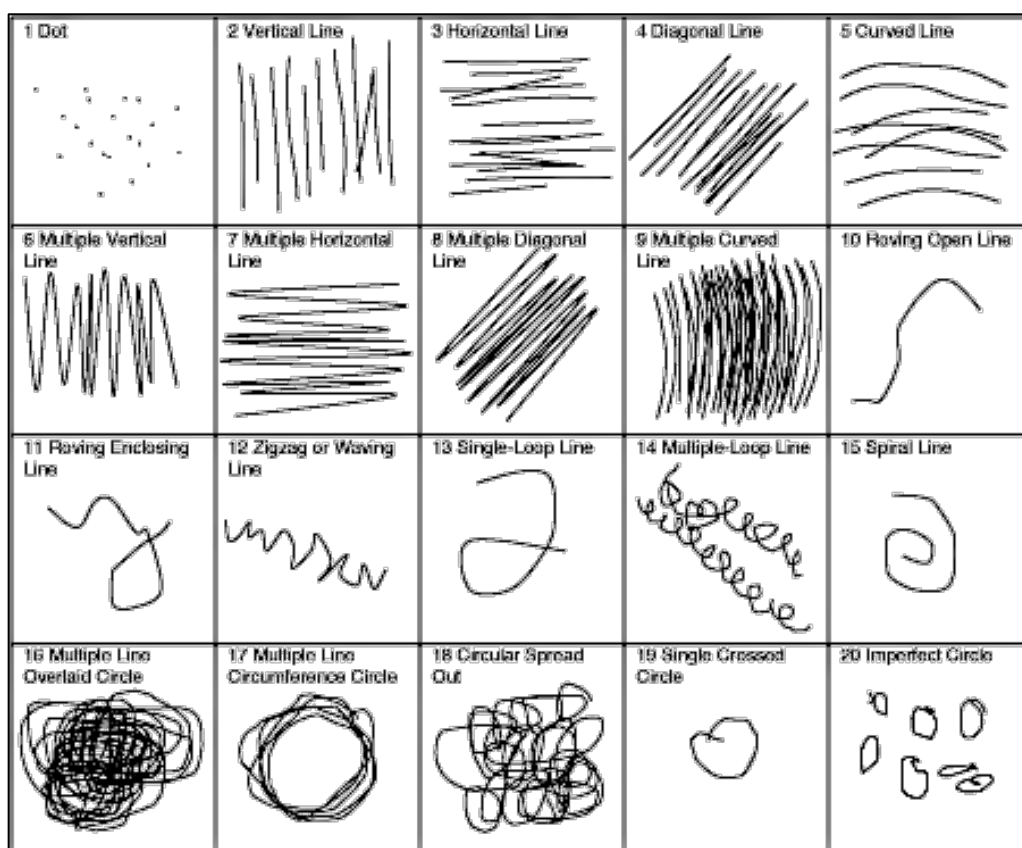


Figure 32: Formes fondamentales de traces préfiguratives selon R. Kellogg³⁴⁹

La caractéristique générale du mouvement est une tendance à l'oscillation. Le mouvement volontaire aperiodique est une opération plus complexe que le mouvement rythmique de va-et-vient qui réalise une forme élémentaire du mécanisme physiologique. Le découpage des courbes continues s'effectue grâce à l'intervention du contrôle et permet la réalisation de boucles, de cercles, de spirales et, plus tardivement, d'arabesques. Translation et

³⁴⁷ Cette projection s'effectue de part et d'autre de l'axe symétrique du corps, main droite côté droit, main gauche côté gauche. L'espace gestuel est à la fois le mouvement du bras, et l'espace qui l'entoure, qui est perçu comme faisant parti du bras lui-même.

³⁴⁸ HAAG, Geneviève, « Entre figure et fond : quelques aspects de la symbolique dans l'organisation du dessin des enfants de 2 à 6 ans », *Le dessin de l'enfant, De l'approche génétique à l'interprétation clinique*, éd. Jocelyne Raffier-Malosto, Paris, La pensée sauvage, 1996/2004, p. 157.

³⁴⁹ KELLOGG, Rhoda, *What children scribble and why*, Palo Alto, 1959 in GARDNER, Howard, *Gribouillages et dessins d'enfants : leur signification*, Bruxelles, Pierre Mardaga, 1960, p. 57-60.

rotation sont deux composantes du mouvement graphique. Sens³⁵⁰ et direction³⁵¹ sont des schèmes moteurs bien distincts. Les mouvements graphiques contrastés entraînent des qualités de productions distinctes³⁵² et produisent des effets graphiques différents :

- faire des points est une activité brusque, martelante. En frappant la feuille, l'enfant imite sans doute les propriétés dynamiques de l'acte de frapper ;
- produire des angles suppose une modification de l'énergie et une pression à mi-chemin au cours du geste. Les mouvements de va-et-vient ou des séries de mouvements angulaires reviennent à imiter des propriétés vectorielles de l'activité ;
- produire des lignes ondulées est un exercice plus calme, plus régulier.

Aspect sémiotique des premières traces graphiques

Dans les années 60, les premières thèses³⁵³ considèrent le gribouillage comme une activité non représentationnelle qui permet avant tout à l'enfant d'exprimer son plaisir kinesthésique et rythmique. Des travaux ultérieurs plaident en faveur de constituants iconiques et symboliques dans l'acte graphique précoce. L'activité de gribouillage a une signification représentationnelle³⁵⁴ avec la présence des trois formats de représentation³⁵⁵ dans la production des traces graphiques primaires : le kinésique, avec le geste graphique et la mimique associée, l'iconique, avec la trace, et le symbolique, avec le langage.

B. Darras attribue une valeur iconique aux premières traces enfantines :

« Nous distinguons dans les gribouillages enfantins de véritables processus iconiques qui produisent des icônes de gestes, des icônes de traces, de rythmes, de formes et d'actions, toutes ces figures précèdent les icônes d'objets et les icônes de mondes et ne sont négligées et reléguées que sous les pressions sociales privilégiant la ressemblance visuelle des objets du monde. »³⁵⁶

³⁵⁰ Le sens est le signe de la courbure du tracé, positif ou négatif. Au point de vue géométrique, le sens est une notion locale, c'est-à-dire qu'un tracé possède un sens en chaque point. Du point de vue moteur, le sens du tracé résulte de la rotation de la main autour du poignet ou du bras autour de l'épaule dans un tracé de plus grande amplitude.

³⁵¹ La direction est une notion simple, *i.e.* direction générale du tracé, par exemple vers le haut ou le bas de la feuille de papier. Au point de vue géométrique, la direction est une notion globale et non locale, c'est-à-dire qu'un tracé peut être dirigé vers la droite, tout en présentant des retours locaux vers la gauche.

³⁵² Dans les activités qui relèvent de l'imitation, l'enfant donne probablement plus d'importance à l'action, à l'énergie qu'au résultat.

³⁵³ KELLOGG, Rhoda, *Analysing children art*, Mountain View, 1969 ; LOWENFELD, Viktor and BRITAIN, W. Lambert, *Creative and mental growth*, New York, Macmilan, 1964 ; PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel, *op. cit.*

³⁵⁴ WINNER, Ellen, "Development in the Arts : Drawing and Music", *Handbook of Child Psychology, Cognition Perception and Language*, ed. William Damon, Richard M. Lerner, Deanna Kuhn, Robert S. Siegler, New York, John Wiley & Sons, 2006, p. 870.

³⁵⁵ Avec l'idée de continuité et de complémentarité entre ces modes de représentation.

³⁵⁶ Ainsi, Gibson et Yonas constatent en 1968 que les enfants arrêtent abruptement de gribouiller quand le stylo est sans encre. En 1990, Tarr montre qu'en fait, les enfants accordent une grande attention à la trace qu'ils laissent. DARRAS, Bernard, *Au commencement était l'image. Du dessin de l'enfant à la communication de l'adulte*, Paris, ESF, 1996, p. 79.

L'auteur souligne l'intérêt de considérer la trace dans un processus dynamique de production qui enrichit l'interprétation de l'image statique finale. En effet,

« Un dessin coupé de la 'polyphonie' de son environnement gestuel, postural, oral, verbal et social n'est qu'un vestige d'un ensemble communicationnel coordonné. »³⁵⁷

Les gribouillages enfantins sont dominés par la motricité mais non dénués de dimension symbolique. Des travaux sur les notations spontanées chez l'enfant³⁵⁸ montrent que, vers 2-3 ans, il sait exercer une distanciation symbolique avec le jeu de « faire semblant », avec des formes élémentaires d'humour et des jeux de langues. Dès qu'il s'approprie l'usage de la parole, il s'intéresse simultanément aux traces qu'il laisse sur toute surface qui les conserve et confère des significations différentes à différents types de tracés.

S. Tisseron situe les origines de la symbolisation dans ces premières traces laissées par l'enfant, qui ne sont pas fondées sur des représentations préexistantes mais qui mettent en place la possibilité de la représentation. L'analyse de cette genèse graphique est particulièrement intéressante car

« Il existe des images qui sont une forme de figuration des processus psychiques eux-mêmes et qui nous renseignent sur ceux-ci. Et toute image est à la fois un premier contenant pour la pensée et un opérateur de transformations, depuis les premiers traits jusqu'aux images virtuelles. »³⁵⁹

Ces premières traces révèlent en quelque sorte les processus psychiques à l'œuvre et sont des indices de la pensée et de l'activité du jeune enfant. La dynamique de ces traces originelles rend particulièrement sensible l'existence de trois grandes formes complémentaires de symbolisation, sensori-affectivo-motrice, imagée et verbale.

« Ce qui n'a encore reçu qu'une symbolisation sensori-motrice reçoit grâce au geste créatif, une première symbolisation représentative. Une continuité lie l'ordre de la symbolisation sensori-affectivo-motrice à l'ordre de la symbolisation imagée tout comme une autre continuité lie ensuite l'ordre de la symbolisation imagée à l'ordre de la symbolisation verbale. »³⁶⁰

L'activité graphique est organisée de façon successive et continue à partir de trois formats de représentation, kinésique, iconique, symbolique, conformes aux modes de représentation de J. S. Bruner, à la différence près que S. Tisseron les considère tous trois comme des formes de symbolisation.

³⁵⁷ *Ibidem*, p. 81.

³⁵⁸ SINCLAIR, Hermine (dir.), *Les productions de notations chez le jeune enfant, Langage, nombre, rythmes et mélodies*, Paris, PUF, 1988. KARMILOFF-SMITH, Annette, *Beyond Modularity. A developmental perspective on Cognitive Science*, Cambridge, MIT, 1992.

³⁵⁹ TISSERON, Serge, *Psychanalyse de l'image, Des premiers traits au virtuel*, Paris, Dunod, 1995, 4^{ème} de couverture.

³⁶⁰ *Ibidem*, p. 251.

Guidés par une approche sémiotique et cognitive, B. Darras et A. M. Kindler situent l'émergence des premières opérations de représentation et de figuration dès les premiers gestes imités³⁶¹. La présentation détaillée des épisodes d'entrée dans la graphosphère par le très jeune enfant indique que les processus engagés dans les gribouillages ne sont pas seulement l'enregistrement d'une décharge sensorimotrice mais bien l'émergence de processus sémiotique, cognitif et poïétique complexes, à leur échelle tout au moins. Gribouiller peut donc être considéré comme une activité symbolique subjective. Ces représentations précoces seraient des « représentations d'action »³⁶² qui contrastent avec les représentations graphiques plus tardives où les marques finales révèlent ce qu'elles avaient l'intention de représenter.

Aspect expressif des premières traces graphiques

Les caractères individuels du gribouillage sont très manifestes. Les tracés sont différents en quantité, densité, nature, extension spatiale, par l'intensité de la pression du crayon, par l'ampleur, la détermination du geste ou par son caractère contraint, flou ou inhibé, par la tendance dominante à la répétition stéréotypée ou à la variation exploratrice. L. Lurçat reconnaît à l'activité graphique une dimension expressive qui relève d'un domaine différent de la motricité, du perceptif et du contenu graphique : représenter un objet ou attribuer un sens à un tracé est un acte intentionnel ; l'expression, elle, dépend moins de la volonté du sujet que de ses dispositions affectives. On distinguera encore expression artistique et expression psychologique :

« L'expression artistique est un effet voulu, recherché par l'artiste. L'expression psychologique est l'indice de la personnalité, elle donne une coloration personnelle au tracé. Une production graphique donnée peut être dépourvue d'expression artistique mais plus rarement d'expression psychologique, à l'exception peut-être de certains tracés standardisés, du type dessin industriel. »³⁶³

L'expression graphique se situe au niveau des productions les plus précoces, tant dans le processus que dans le produit fini. En conséquence,

« Regarder dessiner les enfants, c'est un temps qui n'est pas perdu. Une chose est de collectionner les traces, une autre est de voir le geste donner naissance à l'arabesque. La qualité expressive n'est pas seulement dans l'œuvre, elle est aussi dans la mimique, dans le commentaire. »³⁶⁴

³⁶¹ DARRAS, Bernard et KINDLER, Anna M., « L'entrée dans la graphosphère : les icônes de gestes et de traces. Approche sémiotique et cognitive. », *Médiation et information*, n°6, Paris, L'Harmattan, 1997, p. 99-111.

³⁶² MATTHEWS, John, "Children's drawings: are young children really scribbling?", *Early child Development and Care*, 18, 1984, p. 1-9.

³⁶³ LURÇAT, Liliane, *op. cit.*, 1974, p. 19.

³⁶⁴ LURÇAT, Liliane, *L'acte graphique à l'école maternelle*, Paris, ESF, 1980, p. 146.

- **Constituant perceptif de l'activité graphique**

Au niveau moteur, les tracés sont étudiés comme la projection de mouvements dans l'espace graphique. Leur complication est directement en rapport avec l'évolution des mouvements qui les engendrent. Les transformations notées³⁶⁵ enregistrent des perfectionnements liés au progrès des mouvements contrôlés. A ce niveau d'associations visuo-kinesthésiques, les décharges musculaires deviennent des mouvements contrôlés et permettent l'apparition de premières formes graphiques, des arabesques puis, grâce au contrôle visuel, des premières figures géométriques dans lesquelles l'enfant inscrit des images d'objets familiers.

La convergence de la motricité et de la perception fait l'objet des études de la forme graphique. Le rôle primordial de la motricité diminue lors du passage au niveau perceptif, dès que le contrôle visuel intervient et se combine à l'activité graphique. L'aspect perceptif concerne la capacité d'organiser des tracés dans l'espace graphique, ce qui suppose une coordination entre la vue et la kinesthésie et permet l'apparition des premières formes. Dans les rapports qui s'établissent entre le contrôle visuel et le mouvement, progressivement l'oeil est amené à guider la main mais le mouvement trouve également en lui ses propres repères, avec un développement parallèle du contrôle kinesthésique et du mouvement. La kinesthésie apparaît avec la réaction circulaire³⁶⁶, quand l'effet visuel du geste entraîne la répétition de ce geste. Les séries visuelle et kinesthésique agissent de façon complémentaire et se confondent dès le départ³⁶⁷, de sorte qu'on peut difficilement distinguer les aspects kinesthésiques des aspects visuels du mouvement. Leur union n'a pas de base organique. C'est grâce à l'expérience que s'opère la jonction kinesthésique et visuelle à tous les niveaux du comportement psychomoteur.

Le passage au niveau perceptif se manifeste dans les étapes progressives du contrôle visuel des tracés. Les deux contrôles ont désormais leur espace d'action, le contrôle kinesthésique dans l'espace gestuel, le contrôle visuel dans l'espace graphique. Le guidage de la main par l'oeil s'installe de façon permanente, l'oeil dirige le mouvement en fonction d'un programme préétabli et des renseignements qui lui parviennent à chaque instant sur l'exécution du mouvement. La kinesthésie et la vue constituent les deux éléments régulateurs du mouvement. Dans ce système à feed-back, la boucle kinesthésique s'élabore avec le

³⁶⁵ LURÇAT, Liliane, « Aspects du contrôle des tracés produits par les jeunes enfants », *Rééducation orthophonique*, Vol.13, n° 8, 1975, p. 294.

³⁶⁶ « Il s'agit de l'activité *circulaire* ainsi dénommée parce que l'effet provenant d'un mouvement parfois fortuit entraîne la reproduction de celui-ci, comme pour vérifier leurs rapports, puis leurs mutuelles modifications. », in WALLON, Henri, « Importance du mouvement dans le développement psychologique de l'enfant », p. 3.

³⁶⁷ La série visuelle et la série kinesthésique s'intriquent dès le départ car la kinesthésie a besoin de références dans le domaine visuel pour se délimiter.

freinage volontaire du mouvement, la boucle visuelle avec l'établissement du guidage dans les différents contrôles.

- **Constituant symbolique de l'activité graphique**

Un tournant décisif de l'activité graphique semble se produire au cours de la troisième année durant laquelle des formes diverses de tracés toujours plus contrôlés prolifèrent. On assiste à « l'ingérence de la fonction symbolique dans le graphisme spontané »³⁶⁸, la fonction symbolique engendrant deux sortes d'instrument : les symboles motivés, signifiants différenciés ayant quelques ressemblances avec leurs signifiés, et les signes, arbitraires ou conventionnels. Au cours des trois années de scolarité en maternelle, l'enfant subit un entraînement graphique important. Il dessine quotidiennement, sur des thèmes spontanés ou proposés, en bénéficiant des suggestions de l'adulte, des trouvailles graphiques de ses pairs, des images qu'il peut regarder, etc. Il franchit des étapes qui vont de la production d'un graphisme non contrôlé au moment de l'entrée en petite section, à un certain niveau d'acquisition de l'écriture et à la possibilité de dessiner des formes variées lors du passage à l'école élémentaire. Des modèles d'écriture et de dessin sont progressivement intégrés. Il devient capable d'en copier un grand nombre et de les conserver. Grâce à cette pratique graphique, il accumule un certain nombre de connaissances empiriques³⁶⁹. Ces différentes formes apprises réapparaissent dans les productions spontanées.

Le dessin est fait de mouvements organisés en vue de réaliser des formes qui sont porteuses d'un contenu expressif, figuratif ou significatif. Si les compétences motrices de l'enfant et ses capacités perceptives à vivre le tracé s'appuient l'une sur l'autre et s'enrichissent mutuellement, la primauté de l'action, de l'émotion et de la perception ne nous permet pas de sous-estimer la dimension adaptative et culturelle du dessin comme système de communication inséré dans un savoir social :

« Dès 3 ou 4 ans, la valeur signifiante du tracé fera de plus en plus référence à des informations apprises, empruntées aux champs de la connaissance et de la culture. »³⁷⁰

De nombreux psychologues s'intéressent au dessin comme moyen d'accéder à la pensée enfantine. J. Piaget et B. Inhelder considèrent que l'évolution du dessin est liée aux capacités graphiques de l'enfant et qu'elle est solidaire de la structuration de l'espace selon

³⁶⁸ OSTERRIETH, Paul Alexandre et OLÉRON, Pierre, *op. cit.*, p. 29.

³⁶⁹ Il arrive notamment à dessiner des formes, à reproduire des modèles, en découvrant de façon intuitive certaines propriétés spatiales de l'espace graphique, puis il organisera ces formes entre elles.

³⁷⁰ RAFFIER-MALOSTO, Jocelyne (dir.), *op. cit.*, p. 25.

les différents stades de ce développement³⁷¹. Le « réalisme intellectuel » du dessin enfantin tient compte des liaisons topologiques mais ignore la perspective et les relations métriques. L'enfant ne maîtrise pas encore le principe de conservation des unités de longueur à la base de la notion d'étalon, il ne peut porter de jugements quantitatifs objectifs sur les propriétés spatiales des éléments du réel.

Le dessin et la peinture sont composés de formes graphiques libres contrairement à l'écriture qui relève de la production de tracés ou de signes codifiés. Un mouvement fixe des signes sur un support à l'aide d'un instrument-scripteur. L'écriture fixe la pensée à l'aide de mots : c'est son contenu sémantique. L'association de deux modèles³⁷² visuel et kinesthésique constitue l'apprentissage de ce mouvement organisé qui passe par deux étapes initiales – acquisition de la forme des lettres vers 4-5 ans et de la trajectoire de l'écriture, autour de 6 ans³⁷³ – et se poursuit les années suivantes par un entraînement quotidien.

3.5.3 Aptitudes de représentation graphique du rythme

Parmi les recherches sur la pensée musicale des enfants, certaines recourent à la représentation graphique et à la notation inventée comme formes alternatives de description de la musique. Ce choix méthodologique est motivé par le fait que les jeunes enfants sont incapables d'expliquer verbalement la nature et le contenu de leur pensée musicale et que les mots sont peu adéquats pour décrire les phénomènes musicaux. L'étude des processus et des produits de ces activités graphiques de représentation et de notation permettrait indirectement l'étude du développement de la cognition musicale.

3.5.3.1 Modes de représentation et typologie de notation du rythme

Les modes de représentation³⁷⁴ enactif, iconique et symbolique sont accessibles à l'enfant de cinq ans qui peut représenter ses connaissances rythmiques par l'action, par l'image et par le symbole. Concernant la cognition du rythme musical chez l'enfant, le

³⁷¹ Durant la période préopératoire, les relations spatiales que maîtrise l'enfant sont de nature topologique (structures topologiques de partition de l'ordre : voisinages, séparations, enveloppements, ouverture et fermeture, coordination des voisinages en ordre linéaire puis bi- ou tridimensionnel, *etc.*) avant d'être projectives puis de se conformer à la métrique euclidienne. Le degré de compréhension des relations spatiales s'apparente alors à une perception élémentaire, intuitive, globale et subjective. PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel, *op. cit.*, 1966, p. 101.

³⁷² Association de la perception visuelle de la lettre aux mécanismes de sa réalisation, sous le double aspect dynamique et cinématique.

³⁷³ LURÇAT, Liliane, *op. cit.*, 1980, p. 145.

³⁷⁴ BRUNER, Jerome S., *op. cit.*, 1966.

principal apport empirique et théorique provient d'études de J. Bamberger³⁷⁵ sur les relations entre la perception et la description du rythme par la logique reflétée dans les notations spontanées. Son analyse de productions graphiques d'enfants de 4 à 12 ans suite à l'écoute d'un pattern rythmique³⁷⁶ simple³⁷⁷ ↓ ↓ ↘ ↘ ↓ ↓ ↘ ↘ aboutit à une typologie musicologique et développementale de la notation du rythme, avec les représentations figurales et métriques. La notation figurale exprime la capacité à entendre les structures rythmiques et à grouper des événements pour produire des motifs signifiants. Liée au geste, elle implique l'agrégat d'événements d'une figure rythmique en groupes qui reflètent un mouvement corporel réel ou imaginé, une *trajectoire ressentie*³⁷⁸ par l'individu à travers une série d'actions. La notation métrique est fondée sur la classification des événements selon les invariances de durée. Elle donne priorité aux mêmes sortes d'entités que la notation conventionnelle du rythme. Ces deux types de notations témoignent de stratégies contrastées de représentation³⁷⁹ de la structure rythmique qui reposent sur des activités d'écoute³⁸⁰ correspondant à deux sortes de compréhension musicale :

	STRATÉGIE FIGURALE	STRATÉGIE MÉTRIQUE
ACTIVITÉ D'ÉCOUTE Attention portée aux événements	↓ ↓ ↘ ↘ ↓ ↓ ↘ ↘	↓ ↓ ↘ ↘ ↓ ↓ ↘ ↘
Loi de perception auditive Fonction du 5 ^{ème} événement Perception	Grouper Succession Vitesse d'exécution	Classer Comparaison Mesure des durées
NOTATION Guide graphique Groupement visuel	O O o o <u>o</u> O O o o o Séquentialisation O O o o o O O o o o	O O o o <u>O</u> O O o o O Pulsation O O o o O O O o o O

Tableau 24: Stratégies de notation figurale et métrique

³⁷⁵ BAMBERGER, Jeanne, *The development of musical intelligence I: Strategies for representing simple rhythms*, Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory, November 1975. *Idem*, *The Mind behind the Musical Ear: How Children Develop Musical Intelligence*, London, Harvard University Press, 1991. *Idem*, "Coming to Hear in a New Way", *Musical Perceptions*, ed. Rita Aiello and John A. Sloboda, Oxford University Press, New York, 1994.

³⁷⁶ Un pattern rythmique est une courte séquence d'événements, de l'ordre de quelques secondes, qui est caractérisée par les durées entre les attaques successives des événements. JUSTUS, Timothy C. and BHARUCHA, Jamshed J., "Music Perception and Cognition".

³⁷⁷ Pattern sans hauteur inventé par les enfants en frappant dans les mains. Il est noté sans indication d'accent.

³⁷⁸ 'Felt path', de D. A. Schön, signifie littéralement « la sensation du passage dans les doigts », in BAMBERGER, Jeanne, *op. cit.*, 1975, p. 3.

³⁷⁹ Les « stratégies de représentation » signifient les processus individuels de reconstruction de la figure rythmique. Le terme « représentation » signifie simplement ce qui est représenté sur le papier.

³⁸⁰ En référence à la *Gestalt*, l'écoute est considérée comme un processus actif de décodage et d'organisation d'un matériel sensoriel qui n'est pas structuré *a priori* mais qui contient le potentiel de l'être.

Ces stratégies figurales et métriques interagissent à trois larges niveaux de développement schématisés comme suit :




Développement	Type de notation
1 ^e niveau	Type 0 préfigural
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Gribouillages rythmiques</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Points</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Dessins de mains</p>  </div> </div>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Type figural (F)</p> <p>F1 w w</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Type métrique (M)</p> <p>M1 oooooooooo</p> </div> </div>
2 ^e niveau	<p>F2 OOoooOOooo M2 OOooOOOooO</p>
3 ^e niveau	<p>M3 OOΦOOOΦO</p>

Tableau 25: Typologie développementale des notations du rythme selon J. Bamberger³⁸¹

La typologie développementale des notations du rythme est constituée de trois niveaux :

- **Premier niveau de développement**

L'étude des représentations des enfants les plus jeunes indique qu'elles sont associées à l'expérience corporelle du rythme.

- **Type préfigural « Dessins en action »** : vers 4-5 ans, l'enfant représente l'action physique de jouer le rythme plus que le contenu rythmique lui-même. Trois sortes de traces sont caractérisées par leur rapport au mouvement, le gribouillage, les points et le dessin de mains.

Le gribouillage rythmique traduit un mouvement intérieur de façon vivante et fidèle. Il projette sur le papier des mouvements itératifs, pulsés, liés à l'expérience corporelle, au jeu des mains et des bras qui produisent les frappes. Le graphisme résulte en une ligne ininterrompue, pulsée et cyclique, sans variation ni groupement. La trace révèle le processus sans parvenir à montrer la spécificité du rythme. En revanche, la continuité du geste graphique reflète la continuité du rythme dans le temps, aspect qui sera ignoré par la suite.

Les productions de points se distinguent par la discrétisation des objets et par la fonction percussive attribuée à l'outil scripteur. La trace ne traduit ni le procédé par lequel elle a été produite ni les caractéristiques du rythme lui-même. La dispersion des points révèle l'absence des conventions de linéarité et d'orientation de l'écrit.

³⁸¹ BAMBERGER, Jeanne, *op. cit.*, 1991, p. 46.

Avec le dessin de mains, l'enfant ne fait pas la distinction entre l'objet qui a produit les sons, la main, et les sons résultants.

- **Types Figural 1 et Métrique 1** : vers 6 ans, l'enfant recourt à des moyens graphiques plus élaborés et montre une capacité naissante de réflexion sur ses propres actions.

F1 w w « Actions en pensée » : centration sur un groupement en deux parties, dans la continuité du mouvement. L'enfant joue le rythme sur le papier. Une ligne continue en zigzag laisse la trace de la structure figurale du rythme, deux figures identiques avec la marque de leur frontière par un espace entre les deux. Tous les événements sont décrits comme une marque unique et continue. Les changements de direction indiquent des événements sonores distincts, sans trace de changement de durée à l'intérieur de chaque figure. De véritables dessins figuraux conservent en partie le rythme original avec ses constituants fondamentaux : l'imitation d'un motif, sa répétition, la continuité du mouvement, l'ordre de succession des événements, le phrasé. Le contexte immédiat d'un événement affecte la manière dont il est entendu. Ces représentations sont des *équivalents d'action*³⁸² : la notation est la trace exacte de l'action. Les graphismes reflètent encore les sensations motrices de l'enfant mais les dessins de figures répétées témoignent de processus de régulation dans la capacité d'interrompre et de grouper le rythme continu de l'action.

M1 ooooooooo : centration sur la différence entre les frappes et l'action de frapper. L'enfant note une série linéaire d'éléments discrets, non groupés, indifférenciés, le nombre exact d'événements distincts avec des marques identiques pour chacun, quelque soit sa durée. Il extrait chaque frappe du complexe rythmique et les compte sans représenter la différence de vitesse des actions. Les temps sont perçus indépendamment du contexte. Le nombre correct de frappes s'effectue grâce à une centration unique sur le comptage des frappes qui témoigne d'un début de construction mentale d'unité métrique.

- **Deuxième niveau de développement**

F2 OOoooOOooo : en filiation avec F1, ces notations illustrent une « pensée-en-action » plus que l'action elle-même. La distance prise avec l'expérience corporelle immédiate permet une description plus symbolique et complète du rythme. Les notations articulent davantage une structure groupée et hiérarchisée en grandes figures, chacune subdivisée en figures intérieures, séquence d'événements uniques, contigus et différenciés selon la vitesse des frappes.

M2 OOooOOooo : passage à une centration sur la mesure des durées relatives de tous les événements. La stratégie de l'enfant implique une réflexion sur ses actions pour capturer la durée relative des événements et faire usage de la notion de l'ensemble des membres d'une

³⁸² D'après Goodnow (1971) in HARGREAVES, David, *op. cit.*, 1986, p. 95.

classe. La représentation de la succession temporelle est intériorisée. Chaque événement est caractérisé comme long ou bref en comparaison avec les autres mais sans rapport avec sa position dans la séquence ni indication de son appartenance à une figure. Les événements sont comparés entre eux par-delà les frontières des figures.

- **Troisième niveau de développement**

M3 OOOOOO : l'enfant décrit maintenant plus précisément les durées par la mesure systématique d'événements dans le temps, avec la capacité à extraire l'unité de temps sous-jacente et à projeter les durées variées sur un cadre de référence fixe. Ces notations marquent l'entrée dans un système symbolique proche de la notation rythmique conventionnelle.

Les enfants favorisent la stratégie figurale ou métrique. Cependant, ces deux modes sont dépendants, complémentaires, transactionnels³⁸³ et sont tous deux nécessaires au « comportement musical intelligent »³⁸⁴.

« Les différentes étapes du développement ne devraient pas être considérées comme une progression simple et linéaire, mais plutôt comme une évolution interactive entre deux manières complémentaires de comprendre le rythme, qui s'enrichissent mutuellement. »³⁸⁵

La compréhension du rythme chez l'enfant est complexe, fondée sur l'interaction entre les réponses organisationnelles figurale et métrique. Le cheminement d'un sentiment corporel intérieur vers son extériorisation en notation statique, formelle et symbolique apparaît comme un élément déterminant dans les lignes de développement reflétées dans les notations.

3.5.3.2 Essai de typologie des représentations graphiques du rythme

Sachant que les enfants de cinq ans peuvent faire part de leurs connaissances via le mouvement, le dessin et les symboles graphiques, lequel de ces trois modes de représentation graphiques privilégient-ils lors de l'écoute de rythmes percussifs simples ? Quels sont les indices graphiques de leur perception de la structure et de la périodicité rythmiques ? Leurs notations du rythme témoignent-elles de stratégies de représentation préfigurale, figurale ou métrique ? Une expérience a été menée³⁸⁶ en vue de repérer les modes de représentation

³⁸³ *Idem.*

³⁸⁴ BAMBERGER, Jeanne, *op. cit.*, 1975.

³⁸⁵ BAMBERGER, Jeanne "Les structurations cognitives de l'appréhension et de la notation de rythmes simples" in SINCLAIR, Hermine (dir.), *Les productions de notations chez le jeune enfant, Langage, nombre, rythmes et mélodies*, Paris, PUF, 1988, p. 104.

³⁸⁶ OMÉTAK, Valérie, « La représentation graphique du rythme chez l'enfant prélecteur de cinq ans ». Dossier de Master 1, Université de Paris 4, Musique et musicologie, Dir. François Madurell, 2008.

auxquels peuvent recourir ces auditeurs et à préciser le mode, figural ou métrique, privilégié dans les notations enfantines. Elle porte sur les représentations graphiques d'enfants de 5 ans, produites pendant et suite à l'écoute de patterns rythmiques percussifs simples. Deux dispositifs sonores (Cf. *infra*) sont conçus selon les marques d'opposition internes des rythmes – durée et accent³⁸⁷ – et selon la modalité de présentation en boucles puis en patterns³⁸⁸. La simplicité³⁸⁹ et les contrastes des rythmes mettent en évidence la dimension à entendre et l'aspect répétitif des structures. Les sons de synthèse (congas), impulsionnels, isolés, de hauteur indéterminée sont enregistrés sur ordinateur³⁹⁰.

Dispositif sonore I³⁹¹ Rythmes variés en durées puis en accents

Boucles (40'')	Durée Patterns	Loi de Proximité	Loi de Similarité
Tempo 70			
R1 ↓ ↓ ↓ ↓	3''30	O O O O	O O O O
Variation de durées			
R2 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	3''	O o O o o O	O o O o O O
R3 ↘ ↘ ↘ ↓ ↘ ↘ ↘ ↓	3''30	o o o o o o o o	o o o O o o o O
R4 ↘ ↘ ↘ ↘ ↘ ↘ ↓	3''30	o o o o o o o o	o o o o o o o O
R5 ³⁹² ↓ ↓ ↘ ↘ ↓ ↓ ↘ ↘ ↓	7''	O O o o o O O o o o	O O o o O O O o o O
Variation d'accents			
Tempo 120			
R6 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ > > > >	4''	O o O o O o O o	O O O O O O O O
Tempo 140			
R7 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ > >	3''	O o o O o o	O O O O O O

Idem, « La représentation graphique du rythme par l'enfant prélecteur de cinq ans. Analyse descriptive et éléments de compréhension ». Mémoire de Master 2 de Musique et Musicologie, Université Paris-Sorbonne, Dir. François Madurell, 2009.

³⁸⁷ Un montage précis va dans l'ordre d'une relative complexification des rythmes par variation de la place des accents, des durées et du nombre d'événements.

³⁸⁸ Tous les rythmes sont présentés en boucles d'environ 40 secondes puis en patterns, de 3 à 7 secondes.

³⁸⁹ Le matériau musical reste réduit dans l'objectif d'introduire des différences nettement perceptibles entre des sons et de focaliser l'attention des auditeurs sur l'organisation interne des rythmes, durées et accents, les autres dimensions (hauteur, timbre, *etc.*) étant neutralisées. La situation demeure assez éloignée d'une écoute musicale réelle puisqu'il s'agit de faire intervenir des sons simples qui, par suite de la restriction du nombre de variables, permettront d'obtenir des réponses perceptives simples et de dégager des relations entre rythme sonore et production graphique.

³⁹⁰ Logiciel Cubase SX.

³⁹¹ Dispositif conçu et expérimenté dans la première étude réalisée en mars 2008.

³⁹² Rythme issu de l'étude de J. Bamberger.

Dispositif sonore II³⁹³ : rythmes variés en accents puis en accents et en durées

Boucles (40'')	Patterns	Loi de	Loi de
Tempo 70	Durée	Proximité	Similarité
r1 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	5''	O O O O O O	O O O O O O
Variation d'accents			
r2 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ > > > >		O o O o O o	O O O O O O
r3 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ > >		O o o O o o	O O O O O O
Variation d'accents et de durées			
r4 $\overline{\text{xx}}$ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ > >	4''	o o o o o o o o	o o o O o o o O
r5 $\overline{\text{xx}}$ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ >>> >>>		o o o o o o o o	o o o O o o o O
r6 ³⁹⁴ ↓ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ ↓ > >	6''	O O o o o O O o o o	O O o o O O o o o O
r7 ↓ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ ↓ > > > >	6''	O O o o o O O o o o	O O o o O O o o o O
r8 ↓ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ ↓ $\overline{\text{xx}}$ ↓ ↓ > > > >	6''	O O o o o O O o o o	O O o o O O o o o
r9 $\overline{\text{xxx}}$ ↓ $\overline{\text{xxx}}$ ↓ ↓ ↓ > > >	5''	O o o o o o o o o O	O o o o O o o o O O

128 enfants par groupes de 4 écoutent les rythmes enregistrés et mettent sur le papier avec des feutres ce qu'ils ont entendu. Les représentations graphiques sont effectuées en temps réel pendant l'écoute des boucles rythmiques d'environ 40 secondes puis en différé, immédiatement après l'audition de courts patterns de 4 à 8 secondes. L'expérience aboutit à un essai de typologie des 2156 productions musicographiques recueillies suivant la tripartition des modes de représentation de J. S. Bruner. Par ailleurs, des indices graphiques précis révèlent des éléments de structure et de périodicité rythmiques perçus par ces jeunes auditeurs et quelques cas remarquables de notations figurales et métriques selon les modes de pensée du rythme de J. Bamberger. Les représentations graphiques recueillies³⁹⁵ sont codées comme suit : *Prénom, Expérience I, Boucle, Rythme 6* (ex : *Alice IB6*) ou *Prénom, Expérience II, Pattern, Rythme 4* (ex : *Jhoann IIP4*).

³⁹³ Dispositif conçu et expérimenté dans la seconde étude réalisée en mars 2009.

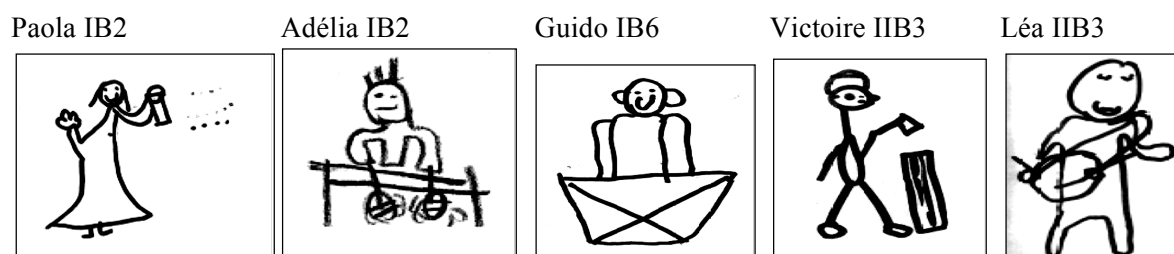
³⁹⁴ Les rythmes 6, 7 et 8 sont issus du rythme utilisé par J. Bamberger, ici diversement accentués.

³⁹⁵ Deux expériences ont eu lieu en 2008 et 2009 : Expérience I : 518 productions graphiques de 37 enfants à l'issue de l'écoute de 7 rythmes présentés en boucles puis en patterns. Expérience II : 1638 productions graphiques de 91 enfants à l'issue de l'écoute de 9 rythmes présentés en boucles puis en patterns.

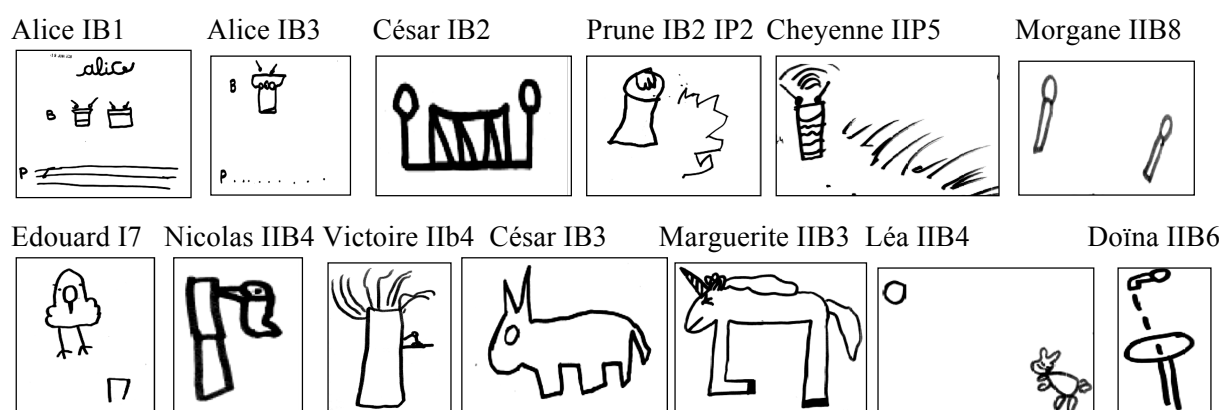
Le classement des productions enfantines suivant les trois modes de représentation des connaissances indique que le mode iconique est privilégié par les enfants de cinq ans. Viennent ensuite les représentations enactives, fondées sur le mouvement graphique, avec l'induction motrice des rythmes et la synchronisation graphique avec le son. Les productions symboliques, moins nombreuses, fournissent des informations temporelles plus précises.

- **Représentations iconiques**

Durant l'écoute des boucles rythmiques, les enfants recourent en majorité aux dessins³⁹⁶ dont la signification et les rapports avec les rythmes sont peu précis, ambigus et chargés d'affectivité. Le graphisme est figuratif. Il représente l'origine du son par le dessin de l'activité des instrumentistes ou d'autres activités humaines avec production sonore :



ou contient des informations relatives au timbre, illustré par des instruments de musique ou par des animaux :



Il serait utile de préciser les intentions figuratives des enfants par un entretien oral.

- **Représentations *enactives***

Elles sont produites majoritairement pendant l'écoute des boucles rythmiques. Ce mode de représentation est encore important chez l'enfant de 5 ans mais il perd sa pertinence au cours de la passation au profit de représentations plus symboliques. L'enfant tend à imiter le jeu instrumental. Ce type d'activité peut être induit par des composantes propres aux

³⁹⁶ Ils sont majoritairement produits en début d'activité et demeurent les plus nombreux.

rythmes et dépend de la sensibilité de chaque individu à la dynamogénie des rythmes. On recense des tracés – gribouillages – produits par gesticulation traçante et décharge motrice :

Jules IIB7

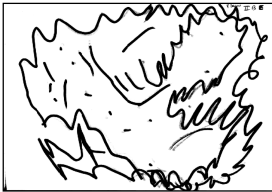


César IB7



Ce type de productions présente des signes annonciateurs d'une progression interne à ce mode de représentation. Un contrôle perceptif supérieur et des manipulations graphiques répétées favorisent la structuration des traces dans l'espace, faisant preuve d'une plus grande intention figurative de l'information temporelle :

Marie IB6



César IB5

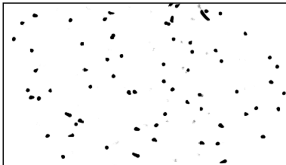


Sah IIB3



La discrétisation des événements graphiques laisse la trace de la concordance avec les événements rythmiques sans toutefois comporter d'informations temporelles *a posteriori*. Le geste graphique précis et rapide favorise la synchronisation avec des événements sonores brefs et rapprochés :

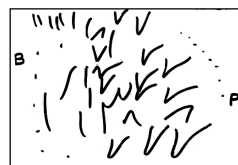
Daisy IB7



Marie IB7



Mathieu IB7



Jules IIB5



L'acte graphique est inscrit dans le flux temporel par sa pulsation ou par son exacte synchronisation avec le rythme. La stratégie de coordination graphique avec la pulsation rythmique ou avec les frappes sonores semble particulièrement économique. Les enfants préfèrent le jeu grapho-rythmique au cours duquel chaque événement sonore est noté.

geste pulsé :

Jhoann IIP4

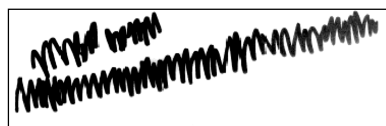


ou « joué » :

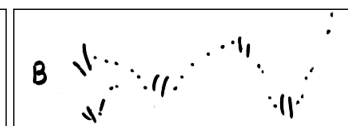
César IB7



Tristan IIB5



Alice IB6

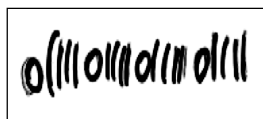


L'anticipation des silences présente une difficulté pour certains enfants qui, parfaitement synchrones avec les événements sonores, persistent dans leur régularité et ne s'interrompent pas sur l'intervalle plus long entre les groupes.

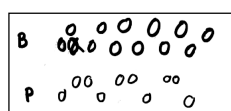
- **Représentations symboliques**

Elles sont les moins nombreuses et encore assez peu abouties du fait du manque de maîtrise des langages écrits. Quelques sujets font preuve d'une maturité remarquable dans la codification d'événements musicaux. Leurs représentations non synchrones avec le rythme sont le signe du passage de l'action à la réflexion. La représentation du temps évolue vers la symbolisation musicale. On distingue des représentations à base de signes graphiques variés :

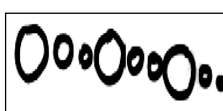
Adélia I3



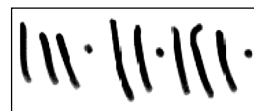
Robinson I2



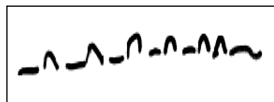
Doïna IIP3



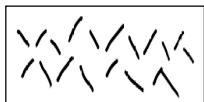
Hugo IIP4



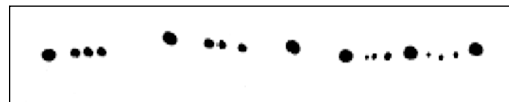
Tristan IIP6



Romane IIP7

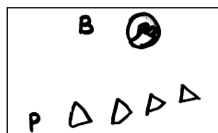


Victoire IIP9



ou avec des symboles géométriques, avec algorithmes alternant deux formes :

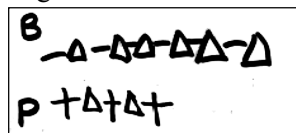
Vincent IP1



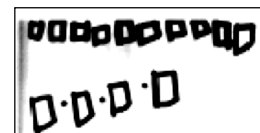
Vincent II5



Hugo I6



Jhoann IIP8

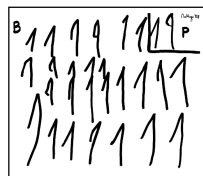


ou encore avec des signes conventionnels :

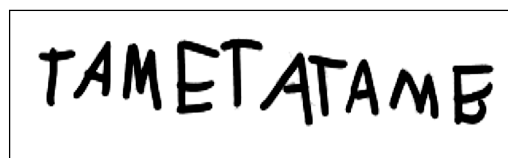
Alice I7



Mathieu I6



Victoire IIB1

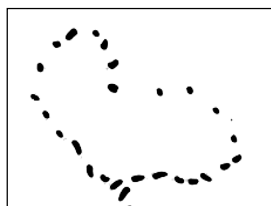


- **Modes intermédiaires de représentation**

Quelques productions relèvent d'un double statut de représentation et nuancent la typologie de J. S. Bruner. Elles indiquent, sur le plan méthodologique, l'importance de l'observation du mouvement graphique en temps réel car la coordination du geste avec les frappes rythmiques a disparue dans les traces finales.

Un mode enactif-iconique apparaît dans un jeu grapho-moteur au cours duquel des enfants réalisent un dessin figuratif tout en frappant le rythme avec l'outil scripteur qui se double alors d'une fonction instrumentale. Le graphisme synchronisé avec les frappes rythmiques est discontinu :

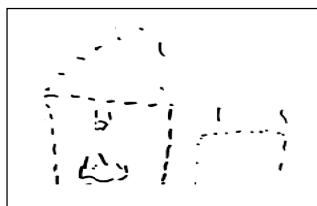
Fatoumata IB5



Anass IB5

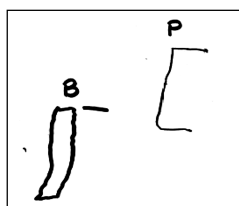


Anass IB7

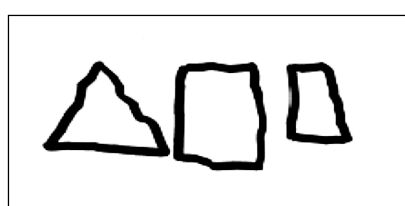


Dans le cas d'un geste graphique frotté et synchrone avec le rythme, la trace résultante est continue, rectiligne, constituée de multiples segments. Le lien direct avec le son n'est presque plus visible dans la figure résultante :

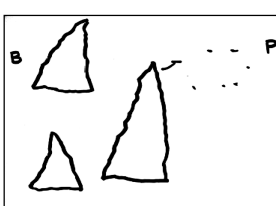
Justine I4



Jhoann IIP4

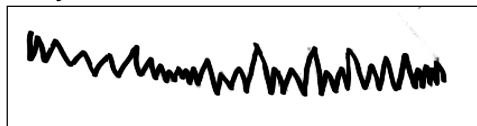


Anass IB2

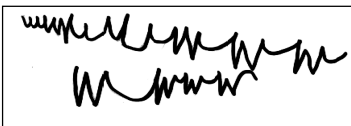


Un second mode intermédiaire enactif-symbolique apparaît dans des représentations d'une précision graphique supérieure qui tente de traduire la spécificité des événements sonores perçus. Le geste coïncide encore avec des événements sonores mais les marques de différenciation graphique fournissent une information temporelle supplémentaire :

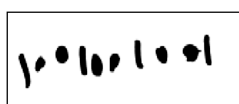
Daisy IB2



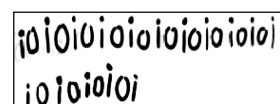
IB5



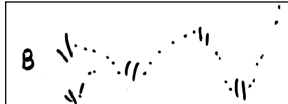
Arto I6



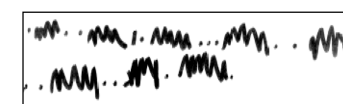
Ethan IIB2 IIP2



Alice IB6

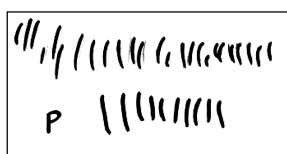


Jadem IIB7

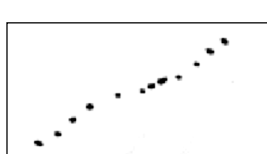


Un tiers des productions sont atypiques. Suite à l'écoute de patterns, les traces sont constituées de signes discrets et uniformes, avec un geste graphique sans lien avec le rythme :

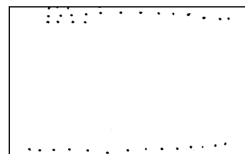
Yanis IB5 P5



Anouk IP5



Taffath IB1 P1



- **Analyse intra et intersubjective**

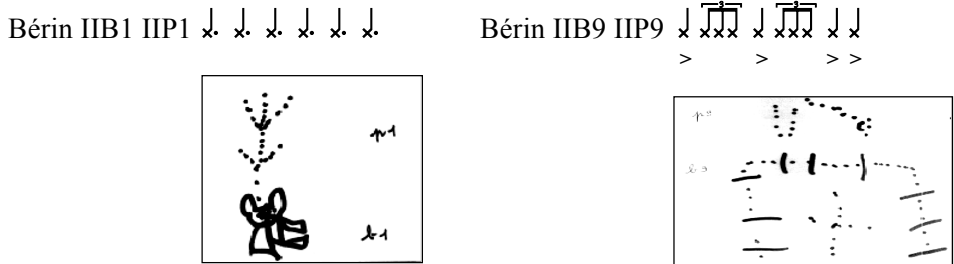
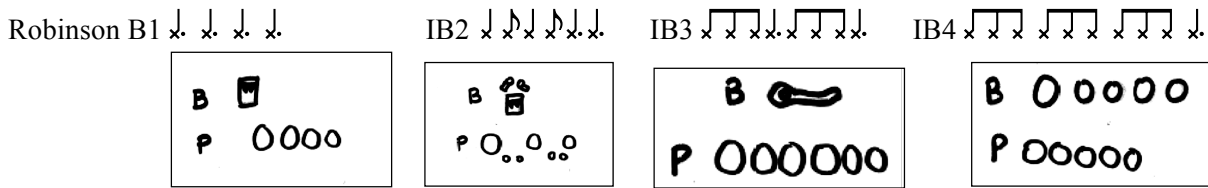
L'usage intra et interindividuel des modes de représentation est très diversifié. Un tiers des enfants recourt à un seul mode de représentation et sept sujets, exclusivement à un même graphisme. Chez la majorité des enfants, les modes de représentation coexistent et la

multiplication des propositions sonores au cours de l'expérience semble favoriser l'usage de ces trois modes. Les représentations iconiques ont tendance à disparaître progressivement au profit de représentations actives puis symboliques.

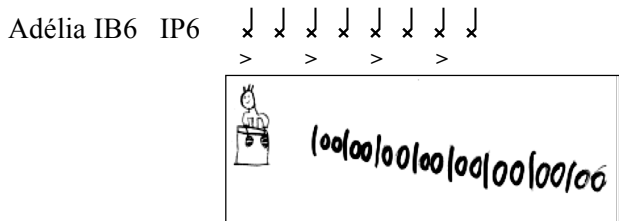
Chez un même individu, on observe le passage de l'iconique à l'enactif :



ou de l'iconique au symbolique durant les boucles :



ou lors de la transition des boucles aux patterns :



Lorsqu'il a lieu, le passage au mode symbolique s'effectue sans retour en arrière. Il indique que l'enfant tente de trouver des caractéristiques qui permettent d'introduire certaines différenciations à l'intérieur des marques graphiques.

La majorité des enfants change d'intention au cours de l'expérience et évolue vers d'autres graphismes par effet d'auto-apprentissage.

Evolution des représentations durant l'écoute des boucles rythmiques

Deux types d'adaptation à la tâche amènent les enfants à élaborer de nouvelles stratégies et à enrichir leur représentation du temps. Une adaptation perceptivo-motrice – perception d'invariants sonores et aptitude motrice à synchroniser le geste graphique avec les

rythmes entendus – apparaît spontanément chez un grand nombre d'enfants, souvent au cours de la notation des boucles. Une régulation des conduites mène à une meilleure synchronisation et à une adéquation entre sons et signes par un alignement des marques graphiques et par leur espacement signifiant la perception de groupements des événements sonores. Par une adaptation idéo-motrice, les enfants procèdent à des choix graphiques et gestuels qui leur permettent de traduire plus précisément l'organisation des événements sonores. Certaines représentations évoluent vers la notation qui traduit la perception du message sonore par des marques graphiques différenciées tout en synchronisant le geste avec le rythme des boucles.

L'harmonisation entre le perceptif et le moteur durant la notation des boucles rythmiques montre l'importance de l'action dans la phase première d'acquisition des connaissances du jeune enfant. Son activité corporelle lui permettrait de déceler des principes qui régissent les rythmes. Ceci tend à corroborer l'analyse de J. Tafuri selon laquelle la participation du corps à l'expérience musicale est déterminante³⁹⁷. Cette forme d'auto-apprentissage stimule le développement des intelligences musicale, corporelle et kinesthésique. Quelques enfants adoptent une attitude plus réfléchie, avec un geste graphique indépendant des motifs entendus en temps réel. Ils font part d'une capacité accrue de concentration et d'attention partagée. Ils parviennent à représenter des composantes et une organisation interne du rythme par des graphes relativement sophistiqués. Sur le plan de l'écoute, cette activité suppose la perception et la représentation mentale de groupements des sons. Sur le plan graphique, l'enfant doit recourir aux concepts de classe et posséder un vocabulaire graphique suffisamment riche pour composer un motif graphique conforme au motif sonore. Les modes de représentation iconique et par l'action, une fois abandonnés par l'enfant lors des boucles, ne réapparaissent pas dans les représentations de patterns. Le temps imparti pour la tâche³⁹⁸ contraint probablement l'enfant à abandonner les expressions comme le dessin figuratif qui nécessitent un temps de réalisation plus long.

Evolution des représentations produites après l'écoute de patterns rythmiques

La faible représentation des patterns par le mode enactif s'expliquerait en partie par la dissociation entre écoute et production graphique qui impose une distanciation, une intériorisation de l'action dans le traitement de l'information. Cette activité graphique est soumise à une chaîne d'opérations mentales complexes et requiert une adaptabilité idéo-

³⁹⁷ TAFURI, Johannella, « Dons musicaux et problèmes pédagogiques », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, éd. Jean-Jacques Nattiez, vol. 2, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 569.

³⁹⁸ Il est limité à 40 secondes durant les boucles rythmiques et restreint à quelques secondes suite à l'écoute d'un pattern.

motrice. Elle fait appel à la fonction sémiotique et implique davantage les représentations mentales. L'enfant de 5 ans peut faire usage du mode symbolique de représentation du rythme mais l'on constate l'apparition d'un mode intermédiaire enactif-symbolique dont la fréquence est élevée après l'écoute des patterns. La conjugaison de la motricité et du symbolique semble lui permettre d'accéder au mode symbolique à l'appui de mouvements graphiques rythmés.

3.5.3.3 Indices graphiques de perception d'éléments de structure et de périodicité rythmiques

Une sélection de propriétés rythmiques potentiellement traduites par des qualités graphiques est effectuée en vue d'étudier des relations établies par les enfants entre rythmes écoutés et productions graphiques :

Propriétés rythmiques	Propriétés graphiques
a/ Motifs rythmiques, régularité, périodicité	Motifs graphiques répétitifs
b/ Segmentation interne des groupements : - événements de surface variés en durée ou en intensité - frontières	Organisation des marques dans l'espace Usage du vide, variés/groupés Marques variées en taille/forme, Traitement des graphismes dans l'espace
c/ Succession et ordre des événements	Alignement des graphismes
d/ Durée totale du rythme	Nombre d'événements notés : exact/approchant
e/ Nombre d'événements sonores	Longueur du motif graphique
f/ Pulsation ou frappes	Mouvement pulsé/joué

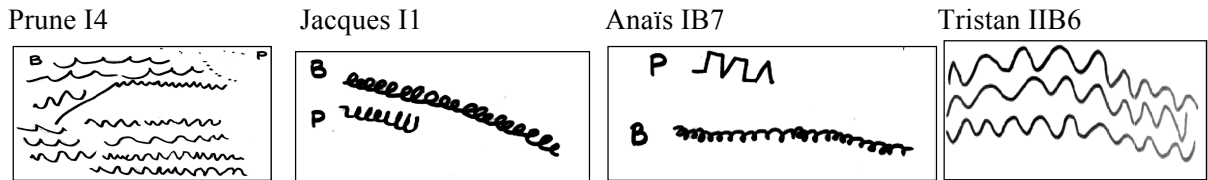
Tableau 26: Hypothèses des relations entre propriétés communes au rythme et au graphisme

Il s'avère que les enfants de cinq ans parviennent à rendre compte graphiquement de certains éléments rythmiques perçus et des relations entretenues par ces divers éléments. Leurs productions graphiques présentent des indices variés qui se rapportent à la structure et à la périodicité des rythmes.

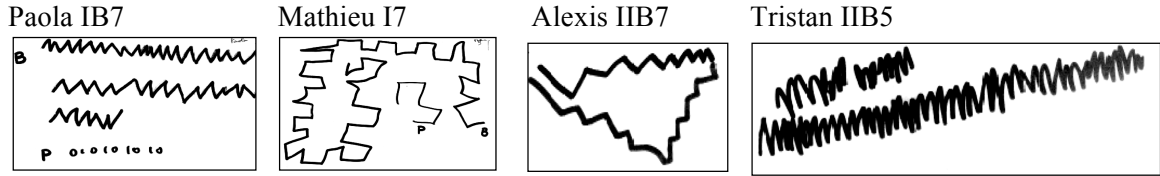
Représentation de motifs rythmiques et de leur régularité

Les motifs graphiques répétitifs ont la capacité à traduire la perception de la répétition des motifs rythmiques. On distingue des graphismes dont le tracé est continu ou discontinu.

Des graphismes sans levée se différencient selon leurs lignes courbes ou anguleuses. Ils permettent d'enregistrer des informations graphiques indiquant la perception d'événements sonores distincts et conservent la mémoire de la pulsation ou des frappes. La répartition des éléments dans l'espace informe sur la distinction des événements rythmiques. Les lignes sont courbes, avec motif, ou anguleuses :



- Lignes anguleuses (Exp. I : 6 % ; Exp. II : 3%)

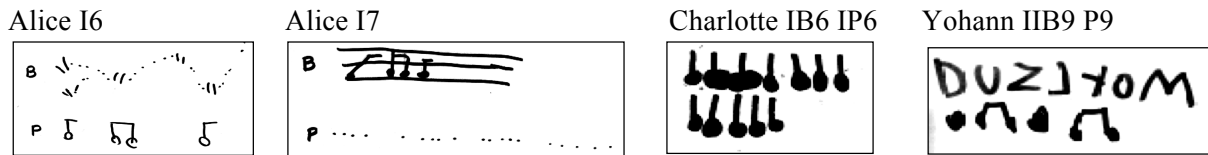


Les graphismes discontinus apportent des informations plus précises sur la composition du message sonore grâce à la correspondance terme à terme entre sons et graphes. Les productions tendent à prendre une signification plus objective. Elles assurent une meilleure lisibilité du message graphique et sont plus interprétables.

- o Signes conventionnels (Exp. I : 17% ; Exp. II : 15%)

En tant qu'entités distinctes, des signes tels que les notes de musique, les symboles géométriques et les lettres peuvent donner lieu à la création de motifs graphiques. La restitution du motif sonore dépend de leur organisation.

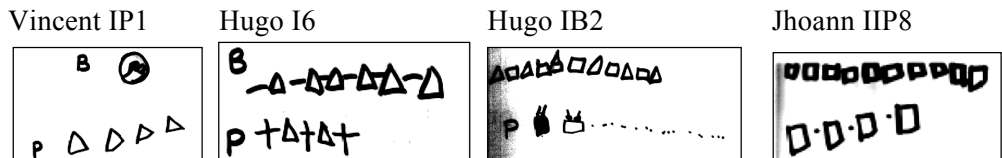
- Notes de musique (Exp. I : 9 % ; Exp. II : 1%)



Les enfants, à défaut de maîtrise du code musical, ne parviennent pas à organiser les signes en motif. Ils tendent à abandonner ces représentations durant la passation.

- Symboles géométriques (Exp. I : 5 % ; Exp. II : 4%)

Ils permettent l'encodage des événements sonores avec des signes graphiques équivalents, organisés en algorithmes :



- Chiffres (Exp. I : N=1 ; Exp. II : 1%)

Quasi absentes des représentations, ces productions sont apparues sur les rythmes accentués les plus simples, traduisant judicieusement l'alternance d'accentuation :

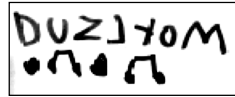


- Lettres (Exp. I : 3 % ; Exp. II : 9%)

Aly IB2 IP2



Yohann IIB9 P9



Djulietta IIB1

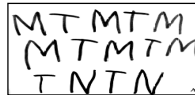


Il est difficile d'attribuer une signification précise à ces successions de lettres. L'usage du code écrit indiquerait que les enfants en ont compris les fonctions de mémoire et de communication. Les productions d'algorithmes de lettres ou de mots sont fortement représentées durant la seconde expérience :

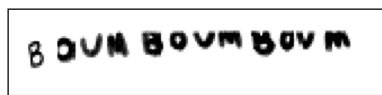
Clémentine IIB1



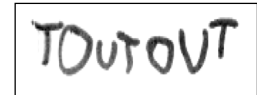
IIB9 P9



Victoire IIB1



Pierre IIP1



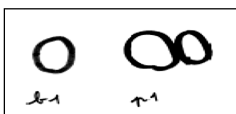
o Graphismes discontinus simples ou composés

Ils sont le plus largement représentés. Parmi ces signes itératifs concordant avec le frappé des événements sonores, on distingue selon leur fonction les graphismes simples (40%) et les graphismes composés (10%).

La forte fréquence de l'usage de graphismes simples (20% points, 12% bâtons, 5% ronds) peut être due à l'association de l'événement graphique à la brièveté des frappes percussives entendues. La stabilité des résultats ne permet pas de repérer de variations significatives en fonction des rythmes présentés³⁹⁹. L'usage de ronds reste dans une proportion limitée par rapport aux points et bâtons. La vitesse de production graphique des ronds ne permet pas de synchroniser sons et graphes alors que le tracé des bâtons et des points semble plus adapté. On observe l'évolution des ronds aux points :

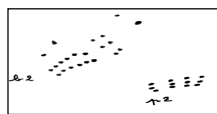
d'une boucle à l'autre

Alexis IIB1

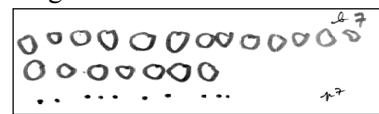


ou des boucles aux patterns

Alexis IIB2

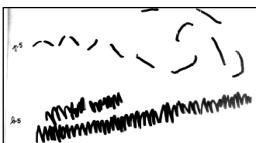


Hugo IIB7 IIP7

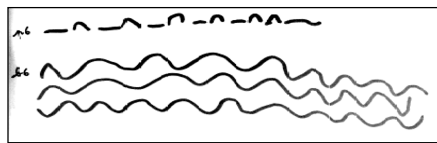


L'apparition de motifs graphiques différenciés fournit des informations plus précises sur les événements sonores perçus par l'enfant :

Tristan IIB5 IIP5



Tristan IIB6 IIP6

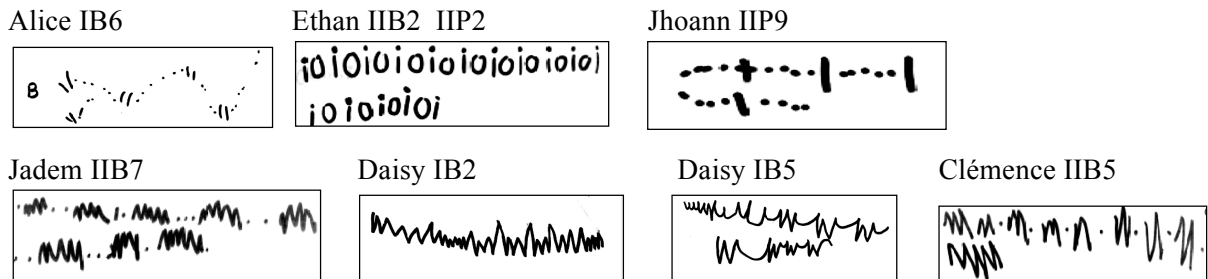


³⁹⁹ Ces éléments uniformes ne transcrivent pas la valeur relative des durées ou l'accentuation des événements sonores par leur organisation dans l'espace.

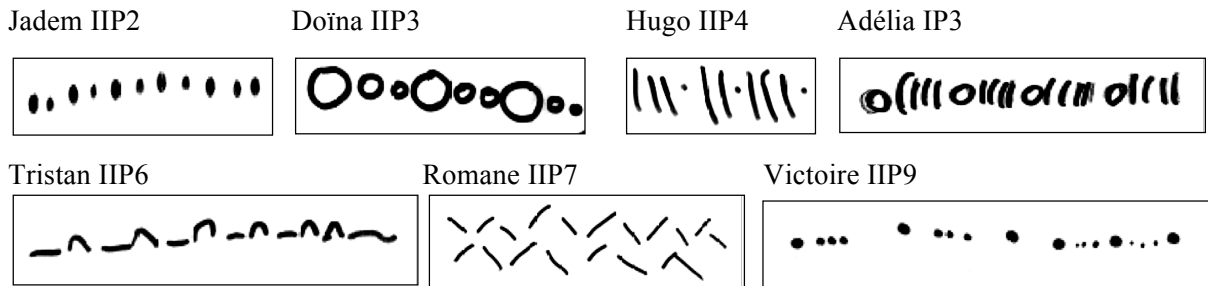
Représentation de la segmentation interne des groupements rythmiques

Les boucles rythmiques sont constituées de patterns qui en constituent le motif répétitif. La composition interne des patterns varie sur le plan des durées, par espacement des intervalles entre les frappes, ou de l'accentuation, par intensification sonore.

Une stratégie grapho-motrice permet d'encoder des signes – variés ou groupés – par un geste graphique qui simule le geste rythmique. Le découpage est fondé sur le produit de l'activité mais l'enfant possède dès le début un critère qui détermine l'unité de découpage : il fait systématiquement correspondre les éléments graphiques à des éléments rythmiques homogènes :



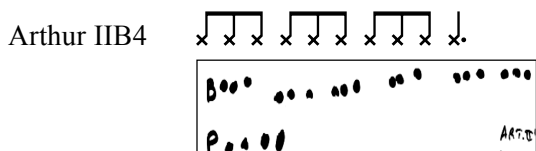
Certains enfants ont abstrait des propriétés du signal sonore qu'ils notent par des signes variés ou groupés tracés indépendamment du mouvement rythmique :



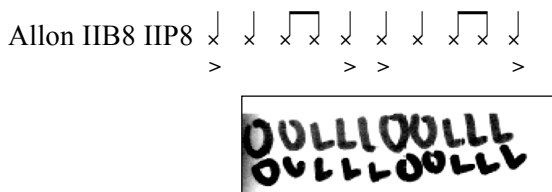
- Événements de surface variés en durée

Leur perception s'appuie sur les lois de proximité ou de similarité. Des représentations graphiques relèvent de différentes stratégies d'encodage des durées et des groupements :

- par des marques identiques séparées par un espace inter groupes :

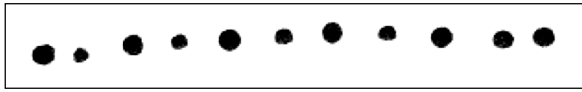


- par des signes graphiques de forme variée :



Les relations entre sons et graphes sont établies par un rapport d'équivalence entre la durée des intervalles entre les frappes et la durée des tracés, indiqué sur le plan graphique - par des signes discrets de taille variée :

Jadem IIP2

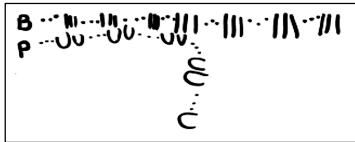


Jadem IIP3

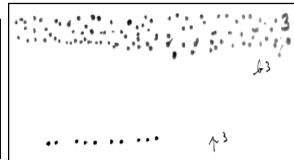


- par des signes graphiques de forme variée qui engendrent ici une taille variée :

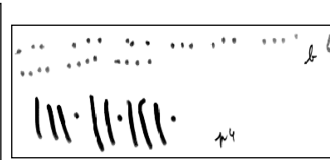
Anouk IB3



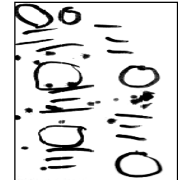
Hugo IIB3 IIP3



Hugo IIB4 IIP4

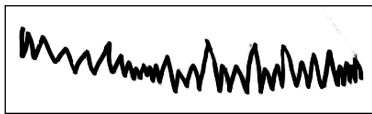


Blanche IIP6



- par des signes continus de taille variée. Alors que l'invariance des mesures de longueur n'est pas maîtrisée à l'âge de 5 ans, on décèle parfois un usage de la proportionnalité entre durée du son et longueur du signe. Les traces suivantes sont déposées de manière oscillographique, le geste graphique étant synchronisé avec l'audition de la boucle sonore :

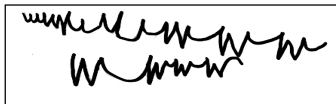
Daisy IB2



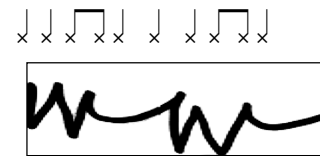
détail



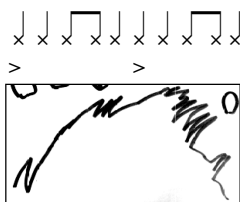
Daisy IB5



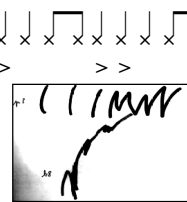
détail



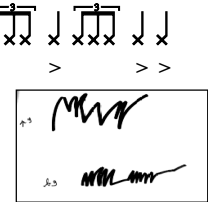
Adam IIB6



IIB8 IIP8

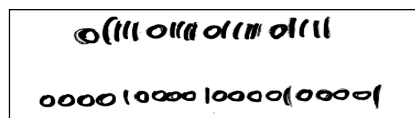


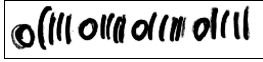

IIB9 IIP9



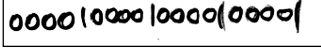
Deux stratégies de codage des durées apparaissent dans les représentations suivantes qui font preuve d'une plus grande intelligibilité de leur perception des groupements sonores :

- Adélia IB3 IP3



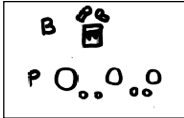
La notation de la boucle B3 par  fait apparaître la segmentation du rythme en un premier groupement  dans lequel sont notés quatre événements perçus

égaux par quatre graphies identiques (|||) formant un sous-groupe, suivi d'un signe distinct ○ qui marque l'intervalle perçu et dont l'effet de pause est possiblement renforcé par la durée de l'intervalle entre groupe (noire pointée).

La loi de proximité se traduit après l'écoute du pattern $\overline{x\ x\ x} \downarrow \overline{x\ x\ x} \downarrow$ par . Le trait vertical symbolise une frontière temporelle qui semble avoir été nettement perçue auditivement.

- La perception de variation de durées du rythme est traduite par l'invention d'un codage faisant appel à deux critères simultanément, la taille et la répartition des motifs dans l'espace. Toutefois, ces signes graphiques ne coïncident pas exactement avec les événements sonores :

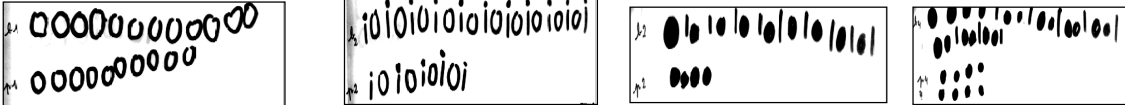
Robinson IP2 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$



- Événements de surface variés en intensité

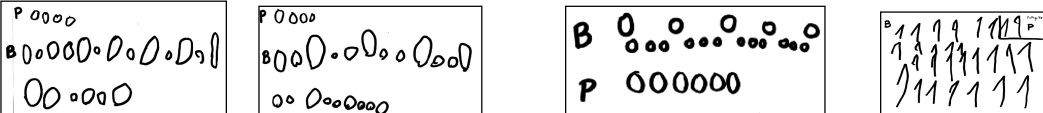
- par variation de forme :

Allon IIB1 IIP1 IIB2 IIP2 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$ Valéria IIB2 P2 IIP4 $\overline{x\ x\ x} \downarrow \overline{x\ x\ x} \downarrow$



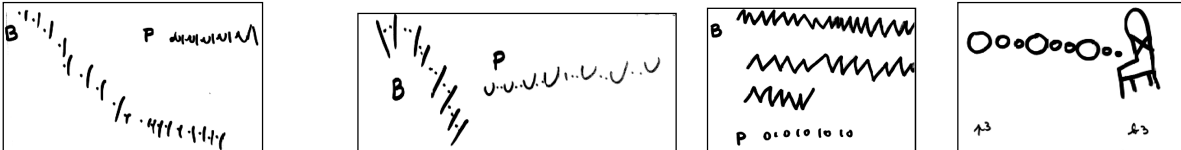
- par variation de taille :

Noé IB6 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$ Noé IB7 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$ Robinson IB7 Mathieu I6



- par variation de forme et de taille :

Anouk I6 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$ Anouk I7 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$ Paola IP7 Doïna IIB3 IIP3 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$



- par spatialisation des marques :

Jadem IIB4

$\overline{\times \times \times} \downarrow \overline{\times \times \times} \downarrow$
 $> \quad >$

Jules I6

Charlotte IP7

Yarol IIB2 IIP2

$\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$
 $> \quad > \quad >$

Yarol IIB5 IIP5

$\overline{\times \times \times} \downarrow \overline{\times \times \times} \downarrow$
 $>>> \quad >>>$

La représentation suivante semble être une tentative de traduire la variation de la structure rythmique en durées et accents par l'usage de deux critères de différenciation graphique, la taille et la forme :

Bérin IIP9

$\overline{\times \times \times} \downarrow \overline{\times \times \times} \downarrow \downarrow$
 $> \quad > \quad >$

• Frontières

On mesure la capacité des enfants à transcrire leur perception des groupements en réservant une place aux silences, aux intervalles entre les frappes, par l'espacement des signes représentant les sons ou par le recours à de nouveaux signes symbolisant les silences eux-mêmes. Le signe graphique de frontières apparaît dans les représentations des boucles et des patterns. Perçues avec l'intensification des rythmes 6 et 7, elles sont matérialisées :

- par un espace vide entre les signes graphiques. Ce sont les motifs groupés :

Arthur IB6

$\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$
 $> \quad > \quad >$

Arto IP7

$\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$
 $> \quad >$

- par une marque graphique différente :

Adélia IB5

$\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$
 $> \quad > \quad >$

Hugo IP5

Clémence IIB4 IIP4

$\overline{\times \times \times} \downarrow \overline{\times \times \times} \downarrow$
 $> \quad >$

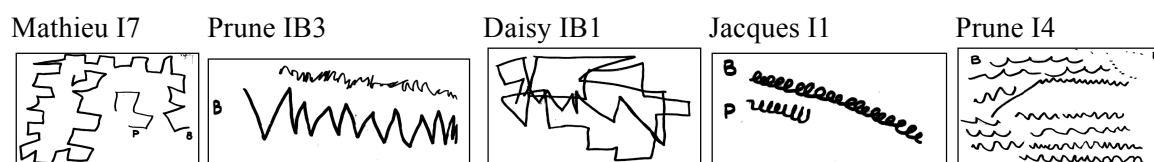
Les enfants ne traduisent pas précisément la composition interne des rythmes variés en durée et accent. Les variations d'accent ont parfois été repérées graphiquement avec la

différence entre les marques graphiques variées en taille, forme ou organisation spatiale, produites sur des rythmes très simples, aux durées invariables. Mais la variation d'accentuation de rythmes de même structure de durées n'a pas engendré de marques graphiques différenciées qui puissent nous informer de sa perception par l'enfant. Il reste toutefois nécessaire de garder à l'esprit l'écart entre les intentions et les réalisations de l'auditeur : les capacités de codage de l'enfant prélecteur ne sont sans doute pas encore suffisamment performantes pour lui permettre de faire part d'une structure interne du rythme qu'il a possiblement clairement perçu. L'incitation au mouvement paraît liée à la présence d'éléments plus accentués que les autres ; elle se renforce avec leur périodicité. La question de l'effet de l'accentuation intensive dans le processus d'écoute et de structuration du message sonore reste d'importance puisque la présence d'accents dans l'interprétation musicale pourrait, en captant l'attention et en favorisant l'empreinte de motifs sonores, être un facteur facilitant les relevés rythmiques.

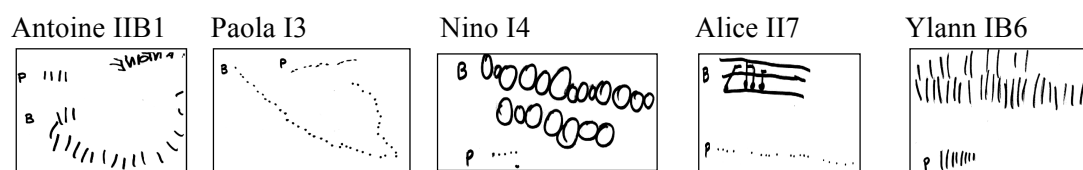
Représentation graphique de la succession des événements sonores

L'alignement spatial traduit la succession temporelle des événements sonores. Présent dans un grand nombre de productions, il constitue un trait caractéristique des représentations graphiques du rythme. On le trouve dans le cas d'éléments graphiques

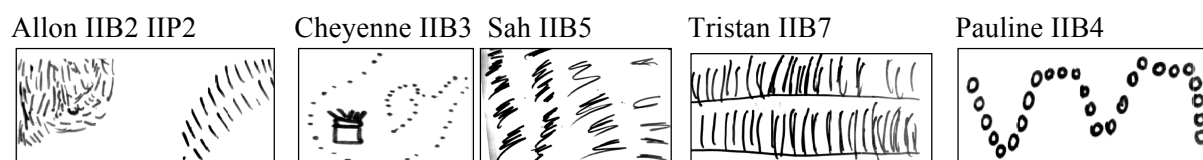
- continus :



- discontinus



- discontinus, joués :



ou dans le cas de dessins figuratifs avec alignement interne de graphismes discontinus ou continus :

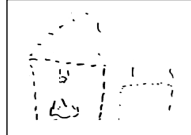
Fatoumata IB5



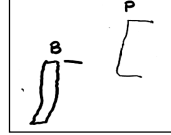
Anass IB5



Anass IB7



Justine I4



Mathieu IIB4



Représentation graphique de la durée totale du rythme

Elle apparaît clairement par la longueur supérieure du codage des boucles (B) comparée à celle des patterns (P) :

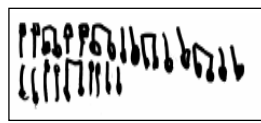
Nino I4



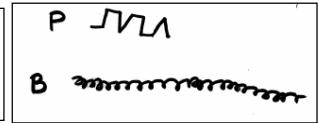
Jacques I5



Clément I5



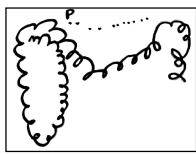
Anais I7



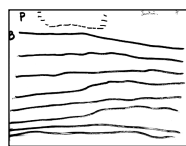
Représentation graphique du nombre d'événements sonores

Le nombre limité de frappes dans les patterns est mémorisé et transcrit immédiatement après l'écoute par un nombre équivalent de marques discrètes :

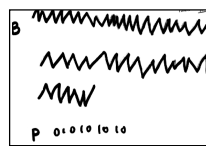
Marie I4



Justine I7



Paola I7



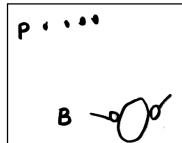
Jhoann IIB2IIP2



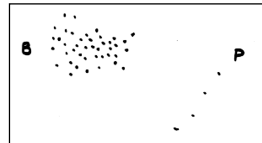
Daisy IP1



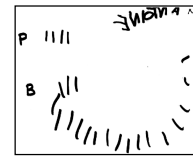
Mathieu IP1



Arthur IP1



Antoine IP1



Grégoire IIP1

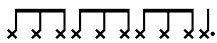


Violette IIP3

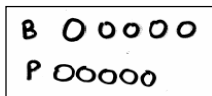


La mémorisation de l'information est parfois défaillante :

Robinson IP4



« Je ne me rappelle plus il y a combien de fois, là ! »

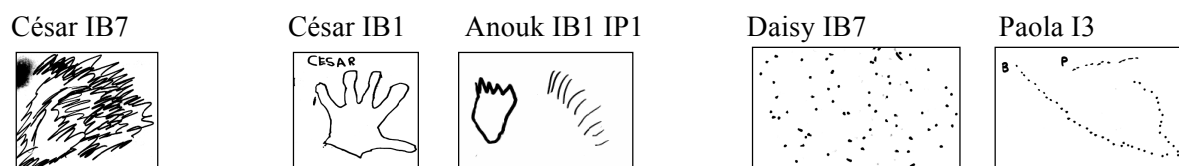


3.5.3.4 Notation d'aspects figuraux et métriques du rythme

Des qualités préfigurales, figurales et métriques apparaissent dans les représentations graphiques conformément⁴⁰⁰ à la typologie des notations du rythme établie par J. Bamberger. Toutefois, de nombreuses représentations s'en écartent, empruntant des attributs à l'un des deux types ou s'apparentent à divers stade d'un même type.

Type O préfigural : dessins en action

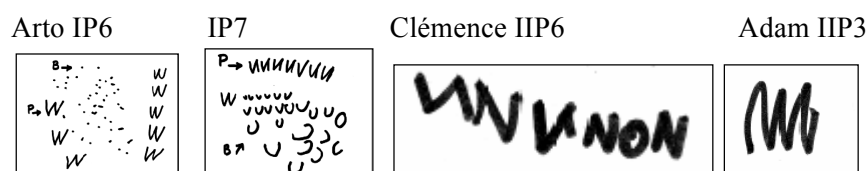
Le jeu rythmique se retrouve dans les gribouillages, les points et les dessins de mains :



Les gribouillages sont faiblement représentés⁴⁰¹. Les dessins de mains apparaissent uniquement au début de l'expérience. Les nombreuses représentations figuratives en rapport avec le timbre musical disparaissent en moyenne à l'audition de la troisième boucle rythmique. Les représentations de points alignés sont les plus nombreuses et reflètent le déroulement du temps structuré avec une origine, une continuité et une fin.

Type figural F1 : « actions en pensée » w w

Un nombre important de représentations plus élaborées a pour caractéristiques figurales la succession d'événements distincts, leur groupement et la vitesse d'exécution :



Les figures claires et répétées sont jouées sur le papier. Le nombre d'événements tracés est exact. On repère la marque de chaque événement sonore sans trace de changement de temps au sein de chaque figure.

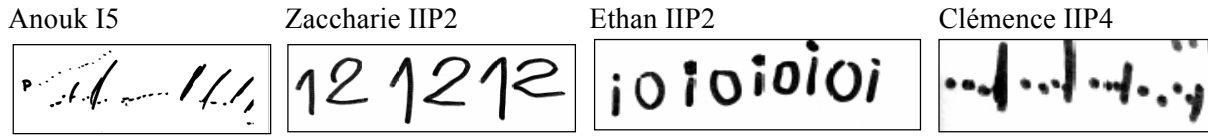
Type figural F2 : « pensées en action » OOoooOOooo

Peu de représentations de ce type sont décelées, la création de motifs variés avec report exact du nombre d'événements sonores nécessitant une plus grande maturité intellectuelle. Cependant, quelques productions traduisent la perception de groupements

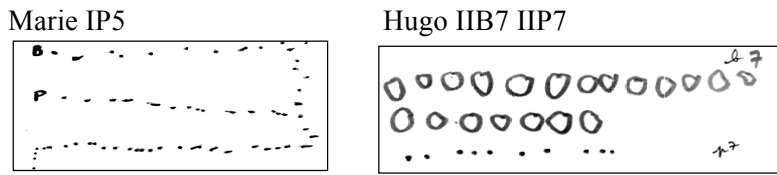
⁴⁰⁰ Dans la limite de comparabilité des résultats.

⁴⁰¹ Les enfants de 5 ans les considèrent comme signe de « régression ».

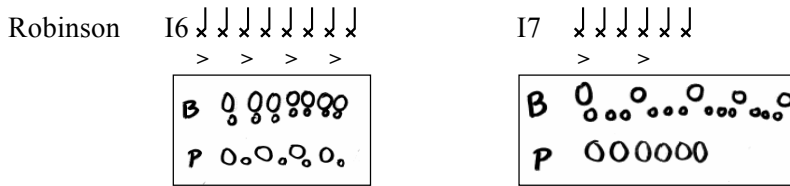
rythmiques par la composition de motifs aux éléments variés et par la figuration de frontières. Le tracé des figures coïncide exactement avec les événements sonores :



Les enfants jouent les patterns rythmiques sur le papier avec un alignement des événements graphiques dont le nombre est exact. La notation reflète encore de près l'action corporelle ressentie mais contient une information temporelle supplémentaire avec la subdivision à l'intérieur du pattern. Le feutre déplacé à la vitesse des événements sonores laisse la trace régulière de marques uniformes mais groupées :

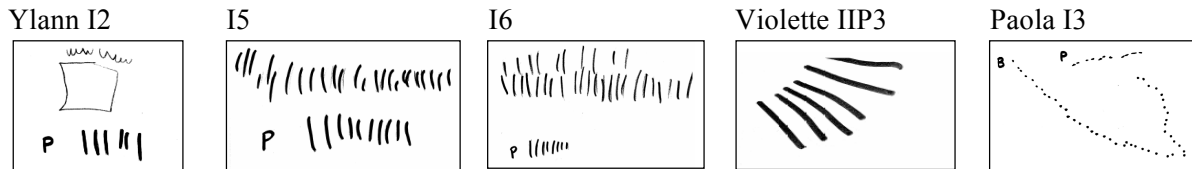


L'accentuation des rythmes est transcrite par des motifs aux figures différenciées et groupées avec des éléments variés en position ou en taille :



Type métrique M1 : oooooooooo

Un nombre important de productions présente des graphismes discrets, indifférenciés, alignés, non groupés et en nombre exact. La pulsation guide le tracé et la durée est prise en considération par la représentation similaire des événements sonores identiques. Chaque frappe extraite du rythme est comptée :



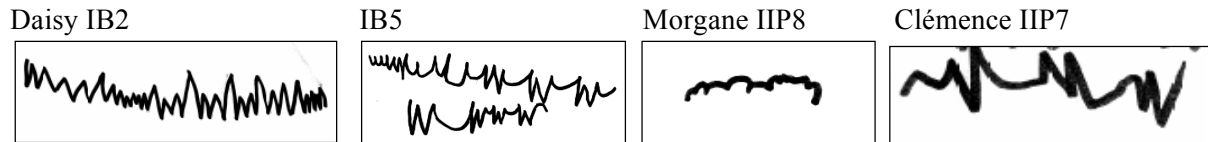
Type métrique M2 : OOooOOOooO

Aucune production ne s'apparente à ce type de notation, l'enfant de cinq ans n'ayant pas encore la capacité à traduire la relativité des durées dans un cadre métrique fixe.

Notations intermédiaires

Stade intermédiaire F1-F2

Certaines productions empruntent des propriétés au premier ou au second stade figural, comme ces représentations actives-symboliques de type oscillographique dont les motifs font preuve de différenciation au sein d'un tracé continu :



Type intermédiaire F1-M1

Les traces sont produites dans un geste régulier sans coïncidence motrice avec le pattern précédemment entendu. Les marques sont discrètes, identiques et en nombre exact. Les frontières perçues sont tracées entre les groupes, révélant un trait proprement figural sans toutefois indiquer la vitesse relative des événements :



Cette étude indique que, dès l'âge de cinq ans, les enfants ont la capacité à transmettre des qualités rythmiques significatives et pertinentes par des qualités graphiques données pour équivalentes. La variabilité des productions, observée chez un même sujet, révèle la coexistence des modes de représentation ; elle est le signe de l'interconnexion, de la perméabilité et de la fluidité entre les classes déterminées. Le recours systématique à la représentation symbolique chez quelques enfants indiquerait le passage d'une pensée synchrétique à une pensée plus analytique du rythme. A une même période, un enfant peut recourir à des stratégies de notation variées, de tendance métrique dans la notation de patterns rythmiques variés en durées et de tendance figurale dans la notation de rythmes variés en intensité. Sur le plan développemental, ces notations révèlent la part active de l'enfant dans sa recherche d'organisation du message sonore. L'existence de transaction entre modes figural et métrique semble indiquer des formes de collaboration réciproque entre divers types de pensée du rythme. Une étude approfondie de la représentation graphique *enactive* du rythme, par l'analyse des mouvements de l'enfant, devrait permettre de préciser les éléments de structure et de périodicité qu'il perçoit mais également de porter un éclairage nouveau sur le *mouvement*, composante essentielle du rythme.

3.6 Bilan

Ces apports théoriques et empiriques sur les potentialités de relations entre la dynamique du rythme et la forme dynamique graphique de l'auditeur de cinq ans aboutissent à une série d'arguments essentiels pour concevoir l'expérience sur la recherche de propriétés de *mouvement* rythmique via des propriétés de mouvement graphique.

Les formes de vitalité dynamiques sont à la base de notre perception du flux dynamique des arts et de la musique, avec la perception du son en *mouvement*. Le rythme musical est une forme sonore dont la dynamique réside dans l'évolution temporelle de l'intensité et des durées, dans sa dynamo-agogique. Cette dynamique peut être visualisée par des profils temporels d'intensité et de durées. Le graphisme est une forme spatiale dont la dynamique réside dans le traçage, le tracé contenant des informations dynamiques résiduelles.

La cognition et l'écoute musicale sont incarnées. L'expérience vécue permet à l'auditeur de mieux concevoir, sentir et exprimer le rythme et le mouvement. L'espace permet de mesurer le mouvement et le rythme. On suppose que le *mouvement* est l'un des traits pertinents du rythme qui peut être perçu par l'auditeur. L'écoute musicale se situe dans le présent psychologique de l'auditeur, un empan de 3 à 7 secondes. Elle suscite des schèmes cinétiques qui peuvent être évoqués corporellement.

La représentation par l'action est particulièrement adaptée à la description d'un flux sonore par ses aspects dynamiques qui pourraient se coordonner aux aspects dynamiques du rythme et simuler le *mouvement* du son. L'activité graphique requiert des mouvements de motricité fine qui peuvent accompagner de façon précise des événements musicaux. A l'appui de la chironomie, on suppose que le mouvement de la main sous la forme graphique est lié *mouvement* sonore.

Le mode enactif de représentation des connaissances est privilégié par l'enfant de cinq ans qui recourt encore à la motricité comme moyen de cognition et d'expression. Le couplage audio-moteur est visible avec la production quasi systématique et irrépressible de mouvements corporels lors de son écoute musicale. A cet âge, les structures temporelles de durée, d'intensité, d'accent prévalent sur les structures de hauteur. La perception est d'abord celle de vecteurs dynamiques avant d'être celle d'une succession de sons distincts.

L'analyse des aspects dynamiques du rythme via le mouvement graphique nécessite encore la recherche d'outils appropriés de capture des mouvements de l'auditeur en vue de les rapprocher du *mouvement* du rythme, objectif majeur de l'expérience suivante.

4 Expérience : représentations graphiques *enactives* de patterns rythmiques percussifs par des enfants de cinq ans

L'expérience de « représentations graphiques *enactives* de rythmes par des enfants de cinq ans » vise à mettre en évidence des caractéristiques du *mouvement* du rythme par des caractéristiques du mouvement graphique produit par l'auditeur de cinq ans durant l'écoute de patterns rythmiques. Elle est exploratoire par trois aspects : le *mouvement* du rythme est un objet abstrait donc difficile à caractériser ; la capture du mouvement graphique n'est performante que depuis peu, grâce aux dernières avancées technologique et informatique ; l'étude des aptitudes rythmiques et graphiques d'auditeurs de cinq ans s'appuie sur un nombre restreint de travaux scientifiques concernant l'écoute musicale incarnée des jeunes enfants.

4.1 Méthode expérimentale

Le cycle permanent « hypothèse à tester - expérience - hypothèse nouvelle » est la pierre angulaire de la méthode expérimentale. Elle passe par la planification de l'expérience, la réalisation, l'analyse des données collectées et l'interprétation des résultats. La partie empirique de la thèse constitue un cycle initial, avec des hypothèses à tester dans une expérience exploratoire. Il s'agit d'une phase heuristique faite d'observations et de réflexions en vue de générer des hypothèses plus précises sur le *mouvement* du rythme que l'on considère comme un objet rationnel, *i.e.* présumé réel par la raison, dont on ne peut avoir confirmation de l'existence que de manière indirecte.

4.1.1 Problématique et hypothèses

La problématique est de mettre en évidence certaines caractéristiques du *mouvement* du rythme en étudiant l'appariement de propriétés des formes dynamiques rythmiques et graphiques. Elle s'articule autour de trois problèmes qui attirent à la caractérisation du *mouvement* du rythme par les mouvements graphiques d'auditeurs de 5 ans.

4.1.1.1 Problèmes

A. Description du *mouvement* du rythme

On considère en théorie que les propriétés dynamo-agogiques¹ sont vectrices² de *mouvement* sonore et que l'évolution de la vitesse dans le temps permet de décrire le mouvement d'un objet. Qu'en est-il dans le cas particulier du *mouvement* du rythme ? Les variations dynamo-agogiques ont-elles une incidence sur la perception du *mouvement* rythmique ? Fournissent-elle une information de vitesse qui permettrait de caractériser ce type de mouvement ?

B. Description du *mouvement* du rythme par les mouvements graphiques de l'auditeur

Le phénomène de *mouvement* du rythme ne peut être appréhendé que par une méthode indirecte. On cherche dans l'expérience de l'auditeur les effets symptomatiques de ce *mouvement* du rythme dont rien ne prouve l'existence mais qui est vraisemblablement impliqué dans ses mouvements graphiques. Existe-t-il un lien entre le *mouvement* du rythme et les mouvements graphiques de l'auditeur produits lors de l'écoute de rythmes ? Les propriétés dynamo-agogiques rythmiques perçues sont-elles appariées avec les propriétés dynamiques et formelles graphiques produites par l'auditeur ?

C. Description du *mouvement* du rythme par les mouvements graphiques d'auditeurs de cinq ans

On s'intéresse aux réactions dynamiques graphiques d'enfants de cinq ans à l'écoute de *mouvements* rythmiques. Quelles sont leurs stratégies de représentation du rythme et de son *mouvement* ? Avec quels éléments du rythme leurs mouvements graphiques sont-ils liés ? La variation des propriétés dynamo-agogiques rythmiques influence-t-elle leur production graphique ? Leurs graphismes dépendent-ils de leur âge, leur genre, leur style moteur et leur personnalité ?

¹ Elles ne sont pas exclusives d'autres facteurs musicaux qui peuvent jouer sur le *mouvement* sonore – les attaques du son ; les articulations – ne seront pas traités ici.

² Elles ne sont pas exclusives d'autres facteurs qui peuvent jouer sur le *mouvement* du rythme – les attaques du son ; les articulations – et ne seront pas traités ici.

4.1.1.2 Hypothèses théoriques

Chacun de ces trois problèmes engendre une série d'hypothèses théoriques.

Hypothèse A. Description du *mouvement* du rythme

Concernant les propriétés dynamo-agogiques du rythme, on suppose que si tout mouvement peut être identifié, reconnu et représenté par ses propriétés dynamo-agogiques, alors tout mouvement peut être exprimé et caractérisé acoustiquement et musicalement. Il s'en suit que le *mouvement* du rythme peut être identifié, reconnu, représenté par les propriétés dynamo-agogiques du son. Concernant la vitesse du *mouvement* du rythme, on suppose que l'information de vitesse est contenue dans la structure temporelle du rythme, dans l'évolution temporelle de l'intensité, des durées ou de la combinaison des deux.

En somme, on suppose que le *mouvement* du rythme peut être identifié, reconnu et représenté par l'évolution temporelle de ses propriétés dynamo-agogiques et qu'il peut être décrit par l'information de vitesse contenue dans l'évolution temporelle de l'intensité, des durées ou de la combinaison des deux.

Hypothèse B. Description du *mouvement* du rythme par les mouvements graphiques de l'auditeur

Concernant les relations entre propriétés dynamo-agogiques rythmiques et propriétés dynamiques et formelles graphiques, on suppose que si le *mouvement* du rythme présente des propriétés dynamo-agogiques, alors celles-ci peuvent être exprimées et caractérisées spatialement. Il s'en suit que le mouvement graphique de l'auditeur permet d'identifier, de reconnaître, de représenter des propriétés dynamo-agogiques du rythme. Concernant les relations entre vitesse du *mouvement* rythmique et vitesse du mouvement graphique, on suppose que le *mouvement* du rythme est véhiculé par des propriétés dynamo-agogiques. Ces dernières contiennent une information de vitesse convertie par l'auditeur en un mouvement graphique qui a une vitesse correspondante. Par conséquent, l'information de vitesse du *mouvement* du rythme est en lien avec l'information de vitesse du mouvement du graphisme correspondant.

En somme, on suppose que l'auditeur établit des relations entre propriétés rythmiques et propriétés graphiques et des relations entre propriétés dynamo-agogiques, porteuses d'information de vitesse de *mouvement* du rythme, et vitesse du mouvement graphique.

Hypothèse C. Description du *mouvement* du rythme par les mouvements graphiques de l'auditeur de cinq ans

On suppose que les rythmes induisent chez l'auditeur de cinq ans des mouvements graphiques qui varient suivant les propriétés dynamo-agogiques du rythme, facteur de *mouvement* du son. Il existe donc des régularités de mouvement graphique associées à des propriétés dynamo-agogiques rythmiques.

4.1.1.3 Hypothèses opérationnelles

Dans les précédentes hypothèses théoriques, nous avons considéré l'élément dynamo-agogique comme facteur dominant de mobilité du rythme. Il relève d'innombrables facteurs combinés, en particulier des nuances d'intensité, de l'organisation des durées et de l'agogique, et de l'accentuation. Son étude permettrait de prendre en compte le phénomène de *mouvement* du rythme dans sa complexité. Toutefois, dans l'état actuel d'avancement des méthodes et des outils d'analyse de paramètres musicaux intégrés, nous ne pouvons escompter mesurer l'effet de la dynamo-agogique du rythme sur le mouvement graphique de l'auditeur et sommes contrainte de rechercher les effets d'éléments ciblés, intensité, durées, et organisation de l'intensité et des durées, sur les mouvements graphiques de l'auditeur. Ceci restreint considérablement l'étude du *mouvement* du rythme qui ne peut se ramener à l'échelle d'un paramètre musical unique. Cependant, cette restriction s'impose comme condition de l'expérience exploratoire.

Une série d'hypothèses opérationnelles sera testée en recherchant l'effet de propriétés rythmiques d'intensité, de durée ou des deux combinées, sur les propriétés dynamiques et formelles du graphisme de l'enfant. Ces hypothèses émanent du cadre théorico-empirique et vont des plus évidentes (par exemple, un *forte* engendre une vitesse graphique supérieure à celle engendrée par un *piano*) aux plus subtiles (par exemple, l'accroissement d'un paramètre sonore a plus d'effet sur la vitesse graphique que sa diminution).

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
INTENSITÉ		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Intensité absolue						
	<i>Piano</i>	→	Lente		Petite	
	<i>Forte</i>	→	Rapide		Grande	
Organisation de l'intensité						
	<i>Crescendo</i>	→	Accélération +++		Croissante	
	<i>Crescendo</i> rapide	→	Forte accélération			
	<i>Decrescendo</i>	→	Ralentissement --		Décroissante	
	<i>Decrescendo</i> rapide	→	Ralentissement	Arrêt		
Intensité par accentuation						
	- Faible - Uniforme	→	Constante	Continu, souple	Petite	Courbe
	- Forte - Variée	→	- Pattern cinétique - Variée	Discontinu, rigide, saccadé	Grande	Anguleux
DURÉES		→	DYNAMIQUES		FORMELLES	
IOI ³						
	Court	→	Rapide	Continu	Petite	Courbe
	Long	→	Lente	Discontinu	Grande	Anguleux
Irrégularité/ structure	- Syncope - Cycle tronqué	→	Irrégulière	Discontinu, disjoint		
Régularité/ structure	IOI constants	→	Régulière		Constante	Motif
Organisation des durées						
	Silence	→	Arrêt	Discontinu disjoint		Absence
	Groupement	→	Pattern cinétique			Motif
	Tempo :					
	Modéré	→	Lente	Discontinu		Anguleux
	Rapide	→	Rapide	Continu		Courbe
	<i>Accelerando</i>	→	Accélération +++		Croissante	
	<i>Accelerando</i> rapide	→	Accélération ++++			
	<i>Rallentando</i>	→	Ralentissement ++		Décroissante	
	<i>Rallentando</i> rapide	→	Ralentissement +++			
Irrégularité/ périodicité	- <i>Rubato</i> - Retard final	→	Irrégulière Ralentissement			

Tableau 27: Hypothèses concernant les effets de propriétés d'intensité et de durées rythmiques sur les propriétés dynamiques et formelles graphiques

D'autres éléments de recherche sur les effets de variation de timbre sur les propriétés graphiques sont plus exploratoires. Dans ces cas, aucune hypothèse n'est posée a priori.

³ *Inter Onset Interval*.

- **Transduction de vitesse**

On suppose que l'information de vitesse d'un graphisme originel peut être transmise à l'auditeur par la dynamo-agogique du rythme. Cette hypothèse de transduction⁴ de vitesse repose sur une hypothèse théorique de métamodalité du mouvement et de transcodage humain de profils de vitesse.

4.1.2 Conception de l'expérience

L'expérience est présentée avec ses objectifs et sa méthode, le protocole, les trois principales variables expérimentales – matériau musical rythmique, graphisme et sujets, suivi d'un glossaire.

4.1.2.1 Objectifs et méthode

L'observation et l'enregistrement des traçages d'enfants de cinq ans lors de l'écoute de patterns rythmiques percussifs sont effectués en vue d'analyser ultérieurement l'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques pour tenter d'y déceler des indices de *mouvement* du rythme.

« Expérimenter, c'est réaliser certaines conditions dans lesquelles certains effets doivent se produire, c'est tout au moins introduire dans les conditions une modification connue et noter les modifications correspondantes de l'effet. »⁵

Cette recherche empirique s'approche de l'expérimentation par son objectif puisque l'on cherche l'effet des modifications des propriétés rythmiques d'intensité et de durées sur les représentation graphiques *enactives*, traçages et traces, d'enfants de cinq ans. Pour mettre en évidence une relation déterminée entre formes dynamiques rythmiques et graphiques, on modifie la variable « rythme » et l'on observe les effets provoqués sur la variable « graphisme ». Des régularités entre des propriétés d'intensité et de durées et des propriétés graphiques dynamiques et formelles peuvent indiquer l'existence des liens entre rythmes et mouvements graphiques. On recherche ces régularités par l'analyse de l'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques.

⁴ L'étymologie du terme transduction est empruntée au latin *transductio* et de *traductio*, passage, traversée, action de faire passer d'un point à un autre.

⁵ MIALARET, Gaston, « L'attitude scientifique dans la recherche en éducation, en éducation musical », Université Paris-Sorbonne, Paris, Document de recherche OMF, Série Didactique de la musique, n°19, juin 2001, p. 44.

L'observation directe du mouvement graphique est difficile du fait de son caractère fugitif. Elle est médiatisée par un stylo numérique, outil d'enregistrement du traçage graphique coordonné avec le son qui permet le stockage d'informations brutes en vue de leur traitement ultérieur.

Méthodologie de description de l'écoute

La méthode de recueil de production corporelle, active, continue de l'auditeur durant l'écoute semble permettre de capter, autant que possible instant par instant, son implication avec le rythme et de réduire l'écart temporel entre audition et description du rythme. Le traçage a lieu durant l'écoute de brefs patterns rythmiques, de 3 à 7 secondes, durée qui correspond à une unité temporelle de perception et d'action. L'auditeur produit un mouvement et, percevant son propre mouvement, réagit dans une boucle action-perception.

4.1.2.2 Protocole

L'expérience se déroule dans une école maternelle publique hors Réseau d'Éducation Prioritaire à Paris⁶. Il s'agit de proposer une situation de représentation graphique de patterns rythmiques à des enfants de cinq ans scolarisés en grande section de maternelle, d'observer leur comportement graphique durant l'écoute et d'enregistrer leurs mouvements graphiques, *i.e.* traçages et traces résultantes, pour les analyser ultérieurement.

- **Matériel⁷**

Compact Disc et lecteur CD

Stylo bille électronique et cahier papier numérique format A4

- **Passation**

Quelques jours avant la passation, on présente collectivement aux enfants de deux classes de grande section une vidéo du percussionniste H. Yammine jouant une improvisation sur Darbuka et les différents outils requis pour la passation (pour le son, un CD et un lecteur CD, pour le graphisme, un stylo électronique et un cahier papier format A4). Puis la passation individuelle s'effectue dans une petite salle mitoyenne de la classe des enfants. Ce lieu est

⁶ Dans le 9^e arrondissement.

⁷ Cf. *infra*, matériau musical, matériel graphique.

aménagé de façon à ce que les conditions d'écoute⁸ et de production graphique – installation de tables, chaises et outils – soient les meilleures possibles. L'adulte se tient assis à proximité de l'enfant et gère le lecteur CD pour proposer l'écoute des patterns rythmiques au fur et à mesure. L'enfant est assis à une table individuelle avec un cahier et un stylo numérique.

Phase 1 : Préparation de l'auditeur et consigne

Une familiarisation avec le dispositif est pratiquée au début de la séance :

- L'enfant essaie le stylo bille numérique sur un cahier A4 au papier tramé. Il apprend à déclencher et arrêter l'enregistrement du stylo en appuyant la pointe en bas de page sur la touche enregistre « • » puis sur la touche stop « ■ ».
- Il écoute une brève improvisation (plage 0 du CD) durant laquelle il essaie librement le stylo sur une page vierge du cahier A4 au papier tramé.
- On donne la consigne en expliquant la passation :

« Tu vas d'abord écouter une fois un petit morceau de percussion. »

L'enfant écoute le premier pattern R1 « Trot » une première fois, sans utiliser le stylo numérique.

« Quand tu seras prêt, déclenche le stylo, mets sur le papier le rythme que tu entends. Bouge le stylo comme le rythme ».

Phase 2 : Etapes d'activité de l'enfant

- Lorsqu'il en décide, l'enfant déclenche l'enregistrement du stylo – qui, dès lors, enregistre l'environnement sonore – et se tient prêt à tracer.
- L'expérimentateur déclenche la lecture du pattern rythmique.
- L'enfant effectue son traçage suivant le rythme entendu. L'enregistrement des données graphiques débute à l'instant où la pointe du stylo touche la feuille de papier numérique pour la première fois.
- L'expérimentateur stoppe la lecture du CD.
- L'enfant arrête l'enregistrement général du stylo (touche stop en bas de page).

Cette phase est reproduite systématiquement sur une nouvelle page du cahier pour chaque nouvel item sonore.

⁸ L'enregistrement de l'environnement sonore par le stylo, avec des sons parasites (pleurs d'enfants dans les couloirs, cris lointains provenant de la cour de récréation), indique que nous sommes loin de conditions d'insonorisation.

- **Biais méthodologiques**

- Effets de contexte**

La performance des enfants est probablement liée à la situation dans laquelle se déroule l'expérience.

« [...] un contexte n'a jamais un sens spécifique. Et pourtant le sens d'une communication dépend toujours de son contexte. »⁹

Le contexte est scolaire – la passation s'effectue dans l'école maternelle, sur le temps scolaire et l'expérimentatrice est une enseignante connue des enfants – mais la situation est relativement exceptionnelle. D'une part, il ne s'agit pas d'une situation d'apprentissage mais d'une activité « exploratoire » peu habituelle qui met en jeu l'intelligence ouverte et dont nous attendons des découvertes et non des résultats prédéterminés. D'autre part, les enfants n'ont pas pour habitude d'être seuls avec un adulte en dehors de leur classe¹⁰, ce qu'ils peuvent ressentir comme un privilège ou/et comme une source de stress, selon les individus.

Par ailleurs, il demeure difficile de mesurer les effets de la présence de l'observateur dans cette situation relativement artificielle et de déterminer la part intrusive ou catalysante susceptible de modifier le comportement et les productions des enfants. L'activité est menée dans une apparente confiance, la majeure partie des enfants connaissant l'observatrice, enseignante dans l'école. Néanmoins, ceci n'annule pas les effets dus à la conscience d'être observés. Il est probable que notre comportement oriente la situation de sorte qu'elle devienne révélatrice de comportements attendus. Autant que possible, nos interventions verbales sont contrôlées et limitées, hormis les encouragements dispensés en cours d'activité.

Les effets de contexte sont difficiles à évaluer. La variation des conditions d'expérimentation liées au milieu serait nécessaire en vue de mesurer l'influence du milieu sur le comportement des enfants.

- Consigne**

La situation expérimentale et la consigne peuvent induire chez l'auditeur différentes attitudes perceptives. Selon R. Francès, l'écoute peut être passive ou active, globale ou analytique, d'où l'importance de la méthode et de la formulation de la consigne pour la nature même des résultats obtenus.

« Toute expérimentation mettant en jeu une consigne de recherche perturbe dans une certaine mesure le phénomène tel qu'il se présenterait spontanément sans elle. »¹¹

⁹ HALL, Edward T., *Au-delà de la culture*, Paris, Seuil, 1979, p. 82.

¹⁰ Une autorisation de participation à l'activité est demandée aux parents en amont de l'expérience.

¹¹ FRANCÈS, Robert, *La perception de la musique*, Paris, Vrin, 1958/1984/2002, p. 175.

Il est toujours difficile de saisir de quelle manière l'enfant comprend réellement les mots entendus et comment il interprète la tâche qu'on lui propose. Le type de consigne guide un exercice. La consigne détermine l'intention, et l'intention détermine l'organisation motrice et sensorielle mise en place¹². Par exemple, sur le plan du mouvement graphique, si l'on demande au sujet de « faire » le mouvement, le référentiel utilisé sera égo-centré, puisqu'un mouvement sans autre but que lui-même ne concerne que le corps qui le réalise. Si la consigne est de « dessiner » le mouvement en faisant porter l'attention sur la forme du mouvement, il s'agit d'une action située dans un espace proche et le référentiel est égo-centré. Par contre, si la consigne est de « montrer » grâce au mouvement, le corps change de type d'organisation et utilise le référentiel exocentré, ce qui est plutôt le cas de figure ici. L'effet que produit la consigne sur le comportement de l'auditeur est une question de recherche essentielle et l'étude de cette variable expérimentale nécessiterait en soi d'autres investigations scientifiques.

4.1.2.3 Variables expérimentales : matériau rythmique, graphisme et sujet

La difficulté principale de l'expérience de terrain est le grand nombre de variables cachées ou difficilement mesurables qu'elle comporte. Cependant, supposant que la production graphique de l'auditeur dépend essentiellement du rythme et de l'enfant, les principales variables expérimentales sont :

- Trois variables opérationnelles :
 - Variables indépendantes principales¹³ :
 - le rythme, variable provoquée (propriétés d'intensité et de durées)
 - l'enfant (âge et genre)
 - Variable dépendante :
 - le graphisme (dynamique et forme)
- Une variable intermédiaire inobservable directement : le *mouvement* du rythme

L'âge des sujets est considéré comme une variable indépendante car bien que l'écart d'un an entre l'enfant le plus jeune et le plus âgé soit relativement restreint, il peut avoir des conséquences sur le plan du développement général, rythmique et graphomoteur de l'enfant.

¹² BERGER, Eve, *Le mouvement dans tous ses états, Les recherches de Danis Bois*, Paris, Point d'appui, 1999, p. 74.

¹³ En nombre *quasi* infini, les variables indépendantes tendent à être déterminées avec la plus grande précision possible de façon à ce que la procédure employée puisse être répétée, autant que faire se peut, dans des conditions semblables mais non identiques.

Comment la variable « rythme » affecte-t-elle la variable « graphique » ? Pour y répondre, l'on modifie la première et l'on observe les effets provoqués sur la seconde, des régularités entre des propriétés d'intensité et de durées rythmiques et des propriétés graphiques indiquant l'existence de liens entre le *mouvement* perçu dans le rythme et le mouvement graphique de l'auditeur. Les trois variables opérationnelles de l'expérience ont fait l'objet de choix quant au matériau musical, à l'outil d'enregistrement du mouvement graphique et aux sujets participants à l'expérience.

- **Matériau musical : 24 patterns rythmiques percussifs**

La sélection du corpus de rythmes est une étape importante qui influence les suivantes. Il est donc nécessaire de définir et justifier nos critères de sélection des rythmes à partir de données théoriques et empiriques précédemment recueillies.

La simplicité des rythmes est requise afin d'éviter la complexité du matériau et la difficulté à analyser la combinaison de multiples facteurs. Dans les cas où une seule variable est mise en valeur dans l'item, le matériau est protorythmique. Ces patterns rythmiques élémentaires présentent un bas niveau de spécification et un haut niveau de signifiante.

La brièveté des patterns¹⁴ rythmiques, de 3 à 7 secondes, permet de les inscrire dans le présent psychologique de l'auditeur.

Le matériau musical est acoustique afin d'éviter l'aspect mécanique de rythmes produits avec des sons de synthèse qui irait à l'encontre de l'idée de *mouvement*.

Les percussions ont pour caractéristiques principales¹⁵ leur forme acoustique, avec un son percussif dont l'intensité sonore disparaît progressivement après une attaque assez intense. Le spectre sonore est plutôt inharmonique ou à hauteur floue et glissante. La musique de percussion, dénuée d'harmonie et de mélodie, est à dominante de timbre et de rythme. Elle peut contenir une quantité considérable de formes et structures, encodées dans le timbre, l'intensité et les relations temporelles entre les composants sonores.

Concernant la production des sons percussifs, il existe diverses stratégies de mouvements et de gestes de production du son selon les instruments. Dans le jeu de percussion¹⁶, les instruments sont variés en taille et nécessitent de la force pour l'excitation et un feed-back kinesthésique du musicien. Les sons produits ont généralement des caractéristiques d'impulsion qui les distinguent des autres instruments. Le geste de percussion

¹⁴ Courte séquence d'événements, de l'ordre de quelques secondes, caractérisée par les durées entre les attaques successives des événements.

¹⁵ LA LIBERTE, Martin, « Archétypes et paradoxes des nouveaux instruments », *Les nouveaux gestes de la musique*, éd. Hugues Genevois et Raphaël De Vivo, Marseille, Parenthèses, 1999, p. 127.

¹⁶ *Ibidem*, p. 37.

est direct de la main sur la peau ou par l'intermédiaire d'une baguette. Les gestes de production du son dans la percussion incluent les mouvements préparatoires où le musicien s'assure que la main est placée dans la position adéquate avant de frapper. Le contact du percussionniste avec l'instrument est limité à quelques millisecondes. Le musicien a peu de contrôle du son qu'il a initié.

Production des patterns rythmiques

Etape 1 : recherche sonore

Une première recherche vise à comparer les productions musicales selon deux cultures musicales et différents instruments à percussion. Deux musiciens percussionnistes¹⁷ y ont activement participé séparément : H. Yammine, musicien, compositeur et ethnomusicologue d'origine libanaise, spécialiste des rythmes arabes du Proche-Orient et du Maghreb, et M. Souchet, batteur de formation jazz, compositeur, interprète. Leur répertoire est de tradition orale, le premier étant spécialiste de percussions traditionnelles, le second, du répertoire jazz et de musiques urbaines. Ils ont un niveau d'expertise tel qu'ils peuvent réaliser leurs intentions ou répondre à nos attentes musicales. Ils sont initialement informés de l'objet de recherche sur le *mouvement* sonore du rythme, de l'objectif, avec l'étude des relations entre audition du rythme et production de mouvement graphique, et du protocole d'expérimentation, la situation d'écoute de courts patterns rythmiques par des enfants de cinq ans qui effectuent des traçages avec un stylo numérique.

La recherche sonore s'est effectuée à partir de deux types de consignes. Dans un premier cas, les patterns rythmiques sont conçus à partir de termes indiquant des déplacements simples dans l'espace, selon la forme et l'allure du mouvement (par exemple « Tourner en accélérant »). L'objectif est de donner à chaque rythme une forme dynamique particulière déterminée par une unité d'action. A partir de ces schèmes moteurs élémentaires, le musicien percussionniste recherche un représentant sonore rythmique supposé avoir un *mouvement* sonore type. D'autres patterns rythmiques sont conçus à partir de l'observation par le musicien du traçage de quatre graphismes élémentaires¹⁸, pointe, boucle, arche, alpha (Cf. DVD Rom en 3^e de couverture 1-Vidéos : traçages des 4 graphismes originels (4)). Confronté pour la première fois au problème de recherche sonore à partir d'un mouvement graphique, les deux musiciens cherchent à capter des informations dynamiques et formelles du graphisme par des voies sensorielles différentes. H. Yammine observe le traçage effectué à

¹⁷ Une recherche de plus grande ampleur nécessiterait l'intervention d'un nombre plus important de musiciens. Afin d'éviter toute influence, les deux musiciens mèneront leur recherche sonore séparément.

¹⁸ Suivant les courbes élémentaires de *mouvement* musical de A. Truslit. Cf. 2.2.2.1.

plusieurs reprises par l'expérimentatrice puis joue de la darbuka en concomitance avec le traçage afin de capter les données graphiques formelles et dynamiques perçues visuellement et de mettre les sons en correspondance.



Figure 33: H. Yamine durant la recherche sonore à partir de schèmes graphiques élémentaires

Le batteur M. Souchet observe puis reproduit le traçage du graphisme modèle à plusieurs reprises pour s'imprégner d'éléments formels et dynamiques du geste graphique et réinvestir ces informations multisensorielles dans son geste musical :



Figure 34: M. Souchet durant la recherche sonore à partir de schèmes graphiques élémentaires

Dans un second cas, les patterns rythmiques sont conçus à partir de variations de paramètres rythmiques. Les deux principaux facteurs de variation des rythmes sont ici les durées et l'intensité. Ces paramètres sont séparés dans les protorythmes, avec la modification d'un seul caractère d'opposition (par exemple un pattern *accelerando* et un pattern *rallentando*), ou combinés (comme dans le cas d'un cycle *accelerando*).

Etape 2 : enregistrement des sons

Les productions les plus pertinentes sont sélectionnées avec les musiciens. Ensuite, on enregistre deux CD de courts patterns rythmiques joués l'un sur darbuka, l'autre, sur batterie.

Etape 3 : montage sonore définitif

Afin de sélectionner les items sonores, un pré-test est effectué auprès d'enfants de cinq ans. Il en résulte les choix suivants. L'objectif étant de limiter les paramètres sonores en jeu, on sélectionne les patterns rythmiques enregistrés sur darbuka car la batterie multiplie les timbres instrumentaux. H. Yammine fait le choix d'une darbuka en terre cuite et peau de poisson¹⁹ pour la subtilité de son timbre et pour ses possibilités expressives. L'instrument est posé sur la cuisse gauche du musicien, le renflement en avant et le col dans le creux de la hanche. Sa main droite ouverte produit des accents forts, les *Dum*, au centre du cercle de peau, et des accents faibles, les *Tak*, sur le rebord, alors que les doigts de sa main gauche produisent des percussions d'ornement en tambourinant sur la périphérie.

« L'antithèse de ces deux accents rappelle celle du *frappé* (thésis) et du *levé* (arsis) de la rythmique grecque ancienne. Ces termes techniques n'ont aucun sens en eux-mêmes ; ce ne sont que de simples onomatopées : tum et dum rappellent, en effet, un coup mat, sourd et dense, frappé sur un instrument à percussion ; et Tak un coup sec et clair. »²⁰

Un troisième type de son, *Ras*, est obtenu par un geste de roulement effectué avec les doigts. Différentes techniques de frappe²¹ provoquent des modifications de timbre qui, à leur tour, engendrent une sensation auditive de hauteur. De même, l'accentuation des frappes a des effets sur l'intensité perçue.

Le nombre de patterns rythmiques est fixé à 24 en fonction des propriétés rythmiques à tester et suivant les capacités de concentration et la fatigabilité des auditeurs de cinq ans. L'ordre du montage est déterminé en fonction de la dynamogénie présumée des premiers rythmes conçus suivant des termes de mouvement évoquant des schèmes moteurs élémentaires (plages 2 à 9). Viennent ensuite les rythmes élaborés suivant les quatre traçages

¹⁹ La peau nécessite d'être chauffée afin d'obtenir une tension correcte avant utilisation.

²⁰ ERLANGER, Rodolphe d', *La musique arabe*, Tome sixième, Essai de codification des règles usuelles de la musique arabe moderne, le système rythmique, les diverses formes de composition artistique, Paris, Paul Geuthner, 1959, p. 10.

²¹ *Dum, Tak, Ras* et de nombreuses variantes, avec claqué de pulpe des doigts ou frappé de l'ongle et son étouffé par appui sur la peau durant les frappes.

graphiques types (10 à 13) puis des protorythmes avec un seul facteur d'opposition, intensité ou durées (14 à 17), et des rythmes traditionnels du Proche-Orient présentant des variations dynamiques et une organisation des durées plus complexe (18 à 25). Le Compact Disc d'une durée de 2'13'', placé en 3^e de couverture, comporte une improvisation de 18''5 suivie des 24 brefs patterns rythmiques percussifs précédés d'une improvisation comme suit :

PLAGE	TITRE	DURÉE (seconde)
1	Improvisation	18''5
2	R1 Trot	3''6
3	R2 Galop	4''2
4	R3 Grand galop	3''
5	R4 Sept sauts	4''2
6	R5 Elan-Saut	3''6
7	R6 Tourner	4''
8	R7 Tourner en accélérant	6''
9	R8 Tournoyer	3''1
10	R9 Graphisme 1 <i>Pointe</i>	3''8
11	R10 Graphisme 2 <i>Boucle</i>	2''9
12	R11 Graphisme 3 <i>Arche</i>	3''7
13	R12 Graphisme 4 <i>Alpha</i>	4''5
14	R13 <i>Crescendo</i>	4''4
15	R14 <i>Decrescendo</i>	5''
16	R15 <i>Accelerando</i>	4''5
17	R16 <i>Rallentando</i>	6''2
18	R17 Cycle <i>accelerando</i> (Gubbâhî)	4''8
19	R18 Cycle <i>rallentando</i> (Gubbâhî)	4''5
20	R19 Retard final (<i>Malfûf</i>)	5''
21	R20 Syncope (<i>Masmûdî Saghîr</i> 4/4)	6''7
22	R21 Cycle tronqué (7/8)	5''9
23	R22 Cycle enrichi (<i>Maqsûm</i> 4/4)	7''
24	R23 Cycle épuré (<i>Maqsûm</i> 4/4)	6''7
25	R24 Deux tempi 70-140 bpm (<i>Ayyûb</i>)	7''

Tableau 28: Composition du Compact Disc des 24 patterns rythmiques sur darbuka

La transcription des rythmes est effectuée²² avec le percussionniste afin de représenter le plus précisément possible certaines ornements rythmiques peu transcriposables. Chaque rythme est numéroté suivant l'ordre d'écoute du pattern durant la passation.

²² Avec le logiciel *Sibelius*.

1 Trot 3.6

Habib Yammine

Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 1: Rythme 1 "Trot"

2 Galop 4.2

♩ = 100

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 2: Rythme 2 "Galop"

3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 3: Rythme 3 "Grand galop"

4 Sept sauts 4.2

♩ = 80

Exemple musical 4: Rythme 4 « Sept sauts »

5 Elan-Saut 3.6

♩ = 110

Exemple musical 5: Rythme 5 « Elan-saut »

6 Tourner 4

♩ = 120

Exemple musical 6: Rythme 6 « Tourner »²³

7 Tourner en accélérant 6

♩ = 90 - 118 - 148

accel. poco accel. molto accel.

Exemple musical 7: Rythme 7 « Tourner en accélérant »²⁴

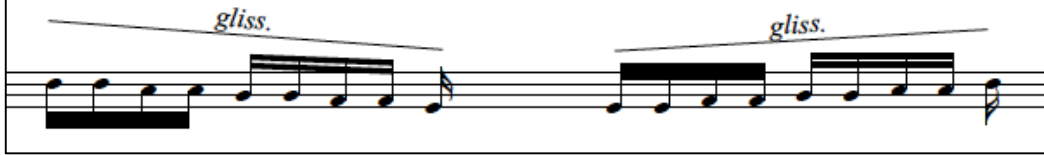
8 Tournoyer 3.1

♩ = 55

Exemple musical 8: Rythme 8 « Tournoyer »

²³ R6 : Rajouter une cellule.²⁴ R7 : Rajouter une cellule.

9 Graphisme 1 Pointe 3.8



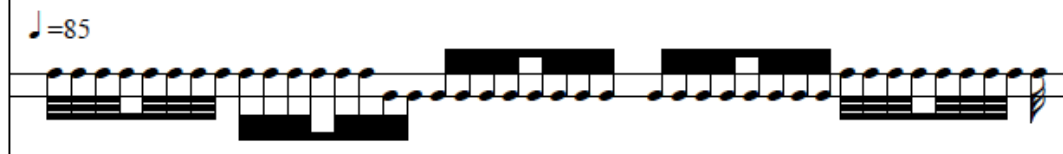
Exemple musical 9: Rythme 9 "Graphisme 1 Pointe"

10 Graphisme 2 Boucle 2.9



Exemple musical 10: Rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »

11 Graphisme 3 Arche 3.7



Exemple musical 11: Rythme 11 "Graphisme 3 Arche"

12 Graphisme 4 Alpha 4.5



Exemple musical 12: Rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »

13 Crescendo 4.4

Exemple musical 13: Rythme 13 « *Crescendo* »²⁵

14 Decrescendo 5

Exemple musical 14: Rythme 14 « *Decrescendo* »²⁶

15 accelerando 4.5

Exemple musical 15: Rythme 15 « *Accelerando* »²⁷

16 Rallentando 6.2

Exemple musical 16: Rythme 16 « *Rallentando* »²⁸

²⁵ R13 : Frappes également réparties dans le temps, sans espace entre les groupes.

²⁶ R14 : Frappes également réparties dans le temps, sans espace entre les groupes.

²⁷ R15 : Accélération régulière des frappes, sans groupe de valeur.

²⁸ R16 : Décélération régulière des frappes, sans groupe de valeur.

17 Cycle accelerando (Gubbâhî) 4.8

Exemple musical 17: Rythme 17 « Cycle *accelerando* »

18 Cycle Rallentando (Gubbâhî) 4.5

Exemple musical 18: Rythme « Cycle *Rallentando* »

19 Retard final (Malfûf) 5

Exemple musical 19: Rythme 19 « Retard final »

20 Syncope (Masmoudî Saghîr) 6.7

Exemple musical 20: Rythme 20 « Syncope »

21 Cycle tronqué 5.9

Exemple musical 21: Rythme 21 « Cycle tronqué »

22 Cycle enrichi (Maqsûm) 7

Exemple musical 22: Rythme 22 « Cycle enrichi »

23 Cycle épuré (Maqsûm) 6.7

Exemple musical 23: Rythme 23 « Cycle épuré »

24 Deux tempi 70 - 140 bpm (Ayyûb) 7

Exemple musical 24: Rythme 24 « Deux tempi 70-140 bpm »

- **Analyse des propriétés rythmiques**

On analyse les 24 rythmes suivant des propriétés de structure et de périodicité.

RYTHME	Durée (sec)	STRUCTURE		
		Nombre de frappes	Fréquence de frappes	Segmentation interne Nombre de groupements
R1 Trot	3,6	12	3	6 (loudness hauteur)
R2 Galop	4,2	14	Oscille de 2 à 10	8
R3 Grand galop	3	33	Oscille de 5 à 25	9
R4 Sept sauts	4,2	28	Oscille de 3 à 20	7
R5 Elan-saut	3,6	25 puis 5	10 puis 15	2
R6 Tourner	4	28	7	10 (loudness hauteur)
R7 Tourner en accélérant	6	40	de 5 à 8	14 (loudness hauteur)
R8 Tournoyer	3,1	40	Oscille de 10 à 25	6 (loudness hauteur)
R9 Graphisme pointe	3,8	18	5	2
R10 Graphisme boucle	2,9	50	15	
R11 Graphisme arche	3,7	41	15...10...10...15	
R12 Graphisme alpha	4,5	46	10	
R13 Crescendo	4,4	15	4	
R14 Decrescendo	5	14	3	
R15 Accelerando	4,5	16	de 1 à 7	
R16 Rallentando	6,2	22	de 7 à 1	
R17 Cycle accelerando	4,8	26	de 8 à 12	5
R18 Cycle rallentando	4,5	20	de 12 à 7	4
R19 Retard final	5	33	7 puis 5	4
R20 Syncope	6,7	15	de 1,5 à 3 par cycle	2 par cycle
R21 Cycle tronqué	5,9	13	de 2 à 3 par cycle	3 par cycle
R22 Cycle enrichi	7	34	De 3 par cycle à 8 puis 22	2 par cycle
R23 Cycle épuré	6,7	39	De 20 par cycle à 7 puis 3	2 par cycle
R24 Tempi 70-140 bpm	7	24	2 cycles à 3 puis 4 cycles à 10	2 par cycle

Tableau 29: Propriétés de structure des 24 patterns rythmiques

RYTHME	Intensité perçue/accents	Valeur (sone)
R1 Trot	F f F f F f F f F f F f	f=5 F=8
R2 Galop	fff fff fff fff fff fff fff	f=5 F=8
R3 Grand galop	ffff fff ffff fff ffff ffff fff fff ffff	f=4 à F=8
R4 Sept sauts	ffff ffff ffff ffff ffff ffff ffff	f=6 à F=9
R5 Elan-saut		De 9 à 11
R6 Tourner		8
R7 Tourner en accélérant		8
R8 Tournoyer	ffff ffff	f=6 F=8
R9 Graphisme pointe		Entre 6 et 8
R10 Graphisme boucle	pp < p > pp < p < f	De 3 à 6 puis de 4 à 8
R11 Graphisme arche		Env 7-9
R12 Graphisme alpha		Env 6-8
R13 Crescendo		de 5 à 11
R14 Decrescendo		de 8 à 4
R15 Accelerando		de 7 à 10
R16 Rallentando		De 9 à 7
R17 Cycle <i>accelerando</i>	Intensité F f f F F	Motif de f=6 à F=9
R18 Cycle <i>rallentando</i>	Intensité F f f F F	f=5 F=10
R19 Retard final		f=7 F=9
R20 Syncope	Accent sur T	Env. 9-10
R21 Cycle tronqué	Accent sur T	D=8 T=9
R22 Cycle enrichi	Accent sur T	D=8 T=10
R23 Cycle épuré	Accent sur T	Motif : de 7 à 10
R24 Tempi 70-140 bpm	Accent sur T	De 8 à 10 puis 9 à 11

Tableau 30: Propriétés d'intensité des 24 patterns rythmiques

RYTHME	Timbre	
	x : Uniforme	Varié
R1 Trot		T t T t T t T t T t T t _ _ _ _ _ _ _ _
R2 Galop		ttT ttT ttT ttT ttT ttT ttT ttT _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _
R3 Grand galop		tttT ttT tttT ttT ttT tttT ttT tttT tttT _ _ _ (x9)
R4 Sept sauts		TKTD TKTD
R5 Elan-saut	x	TTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTTD TkTkD
R6 Tourner		DTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTT
R7 Tourner en accélérant		DTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTTDTT
R8 Tournoyer		DrrrTrrrDrrrTrrrDrrrTrrrDrrrTrrrDrrrTrrrDrrrT
R9 Graphisme pointe		baisse puis hausse régulières ttttTTTT TTTTtttt
R10 Graphisme boucle	x	uniforme (roulements) rrrrrrrrrrrrrrrrrrr
R11 Graphisme arche		TTTTTTTTTTTTTTTTTTTTDDDDTTTTTTTTTTTTTTTT
R12 Graphisme alpha		TTTTTTTTTTTTTTTTTTTTDDDDDDDDTTTTTTTTTTTTTTTT T
R13 Crescendo	x	DDDDDDDDDDDDDDDD
R14 Decrescendo	x	DDDDDDDDDDDDDDDD
R15 Accelerando	x	DDDDDDDDDDDDDDDD
R16 Rallentando	x	DDDDDDDDDDDDDDDD
R17 Cycle <i>accelerando</i>		TTKTDTTKTDTTKTDTTKTDTTKTDT
R18 Cycle <i>rallentando</i>		TTKTDTTKTDTTKTDTTKTD
R19 Retard final		DTKTKTKTDTKTKTKTDTKTKTKTDTKTKTKTDT
R20 Syncope		DD TD T DD TD T DD TD T
R21 Cycle tronqué		D D D TD D D TD D D TD
R22 Cycle enrichi		3 cycles DT TD T enrichi
R23 Cycle épuré		3 cycles DT TD T épuré
R24 Tempi 70-140 bpm		D..TD.T.D..TD.T. // D..TD.T.D..TD.T.D..TD.T.D..TD.T.

Tableau 31: Propriétés de timbre des 24 patterns rythmiques

RYTHME	Pulsation	Cycles	Tempo
R1 Trot	6		90 bpm
R2 Galop	8	8	100 bpm
R3 Grand galop	9	9	140 bpm
R4 Sept sauts	7	7	80 bpm
R5 Elan-saut			IOI constante = 100 ms puis 70 ms
R6 Tourner		ternaire	120 bpm
R7 Tourner en accélérant		ternaire	De 90 à 150 bpm
R8 Tournoyer	6	6	55 bpm
R9 Graphisme pointe			IOI = 200 ms
R10 Graphisme boucle			IOI = 70 ms
R11 Graphisme arche			IOI de 70 à 100 ms puis de 100 à 70 ms
R12 Graphisme alpha			IOI constant = 100 ms
R13 Crescendo			IOI constant = 250 ms
R14 Decrescendo			IOI constant = 330 ms
R15 Accelerando			IOI décroissant de 1 s à 140 ms
R16 Rallentando			IOI croissant de 140 ms à 1s
R17 Cycle accelerando	6	5	De 90 à 140 bpm
R18 Cycle rallentando	5	4	De 140 à 80 bpm
R19 Retard final	5	4	120 bpm puis ralenti final
R20 Syncope	4	3	95 bpm
R21 Cycle tronqué		3	100 bpm
R22 Cycle enrichi	6	3	95 bpm
R23 Cycle épuré	6	3	95 bpm
R24 Tempi 70-140 bpm	8	2 puis 4	2 cycles à 70 bpm 4 cycles à 140 bpm

Tableau 32: Propriétés liées à la périodicité des 24 patterns rythmiques

Les patterns suivants sont considérés comme des protorythmes, une seule propriété rythmique étant mise en valeur durant leur cours :

Protorythmes	Propriétés
R1 Trot	Timbre
R6 Tourner	Cycle
R7 Tourner en accélérant	Accélération
R9 Graphisme pointe	Timbre
R13 Crescendo	Intensité
R14 Decrescendo	Intensité
R15 Accelerando	Durée (IOI)
R16 Rallentando	Durée (IOI)

Tableau 33: Huit protorythmes avec leur propriété caractéristique

Finalement, on sélectionne des propriétés caractéristiques des rythmes dont on observera l'effet sur les formes dynamiques graphiques des auditeurs, par l'analyse des relations entre rythmes écoutés et graphismes produits par les enfants :









PROPRIÉTÉS DES RYTHMES	Intensités D  Intensité Accent Timbre	Durées <i>Accel.</i> <i>Rall.</i>	Tempo En bpm R:rapide	Périodicité	Arrêt Groupement Irrégularité	Evolution du pattern o : oui
R1 Trot	TI		90	P	G H	
R2 Galop	TI		100	P	G P H	
R3 Grand galop	TI		140	P	G H	
R4 Sept sauts	TAI		80	P	G P H	
R5 Elan-saut	I(F) D 		R		A	
R6 Tourner	T		120	P	G H	
R7 Tourner en accélérant	T	A	90-150	P	G H	o
R8 Tournoyer	TI		55	P	G H	
R9 Graphisme pointe	T				A	o
R10 Graphisme boucle	I(p) D <><>		R			o
R11 Graphisme arche	T I(F) ><		R			o
R12 Graphisme alpha	T I (mF)		R			o
R13 <i>Crescendo</i>	D 					o
R14 <i>Decrescendo</i>	D 					o
R15 <i>Accelerando</i>	D 	A	...R			o
R16 <i>Rallentando</i>	D 	R	R...			o
R17 <i>Cycle accelerando</i>	TAID 	A	90 -140	P	G H	o
R18 <i>Cycle rallentando</i>	TAID 	R	140-80	P	G H	o
R19 Retard final	TA	R	120	P	G H	o
R20 Syncope	TA		95	P	GPI	
R21 Cycle tronqué	TA		100	P	GPI	
R22 Cycle enrichi	TA	A	95	P	GP...G	o
R23 Cycle épuré	TA	R	95	P	G..GP	o
R24 2 Tempi 70-140 bpm	TA	A	70-140	P	GPI...GI	o

Tableau 34: Propriétés caractéristiques des 24 patterns rythmiques percussifs

- **Graphisme : enregistrement numérique de traçages sonores**

Le but est d'enregistrer l'évolution temporelle de la production graphique. L'enregistrement du mouvement avec le relevé de la position et de la vitesse est le fondement de l'étude cinématique²⁹ : le mouvement graphique est mesuré par la direction et le sens, la vitesse et l'accélération de la pointe du stylo. Il peut être représenté par une séquence finie d'observations de variables : les coordonnées de position (x,y) et les coordonnées de vitesse (vx, vy). L'étude se limite ici aux mouvements bidimensionnels sur une surface plane car le stylo ne permet pas d'enregistrer les variations de pression dans la 3^e dimension du plan lors du traçage, variations très probablement corrélées avec les données sonores perçues par l'auditeur, notamment avec les variations dynamo-agogiques du rythme.

Le geste graphique est contraint par l'existence de la surface plane qui fournit un retour haptique et un repère visuel spatial. Les mouvements astreints à une surface sont bien moins riches que l'ensemble des mouvements réalisables dans un espace tridimensionnel, plus libres et aériens. Toutefois, les informations cinématiques de trajectoire et de vitesse fournissent des données quantitatives sur les propriétés dynamiques du mouvement graphique qui permettront une analyse comparative rigoureuse et testable des productions.

Recherche d'une technique de capture du mouvement graphique

Pour développer une technique qui permette d'extraire des caractéristiques du mouvement graphique, un premier essai mené sur une tablette graphique³⁰ a été abandonné du fait de problèmes ergonomiques : une surface graphique trop réduite et la nécessité de suivre le tracé dans un plan horizontal sur un écran vertical d'ordinateur, qui oblige au découplage traçage/vision de la trace. L'activité du sujet focalisée sur la maîtrise et la précision du geste graphique ralentit sa production et contraint son mouvement.

Divers stylos électroniques ont ensuite été testés et le stylo numérique *Livescribe* a été retenu car, outre la possibilité de conservation et de restitution sur ordinateur de la trajectoire graphique – le traçage étant une image mobile et la trace, une image fixe – cet outil permet d'enregistrer des données cinématiques du mouvement graphique – coordonnées spatio-temporelles – lesquelles, après traitement, peuvent fournir des données sur la position et les mouvements du stylo en temps réel.

²⁹ Les caractéristiques cinématiques les plus élémentaires sont les coordonnées, la vitesse et l'accélération.

³⁰ *Wacom*.

L'outil adéquat pour décrire et enregistrer le mouvement graphique est un stylo numérique sans fil muni d'une caméra infra rouge. La société suédoise *Anoto*³¹ est à l'origine, en 2001, d'un procédé innovant³² qui permet le transfert de textes manuscrits vers un ordinateur ou vers un téléphone portable. Ce procédé repose sur l'utilisation combinée d'un stylo muni d'un équipement spécial (caméra, processeur³³, émetteur) et d'une trame (pattern *Anoto*) appliquée à n'importe quel support papier. Il permet d'enregistrer avec précision l'emplacement et le mouvement du stylo sous la forme de coordonnées (x,y). Les informations sont ensuite traitées et l'écriture manuscrite convertie en caractères digitaux. Après validation, les informations sont générées sous la forme d'un fichier XML qui permet une intégration aisée dans n'importe quelle application ou gestion de flux informatique. Ce procédé est repris en 2005 par *Livescribe*. La plateforme informatique mobile³⁴ comprend :

- un stylo³⁵ *LIVESCRIBE Echo Smartpen 2GB Digitizer-Stift*, équipé d'une pointe à bille classique :

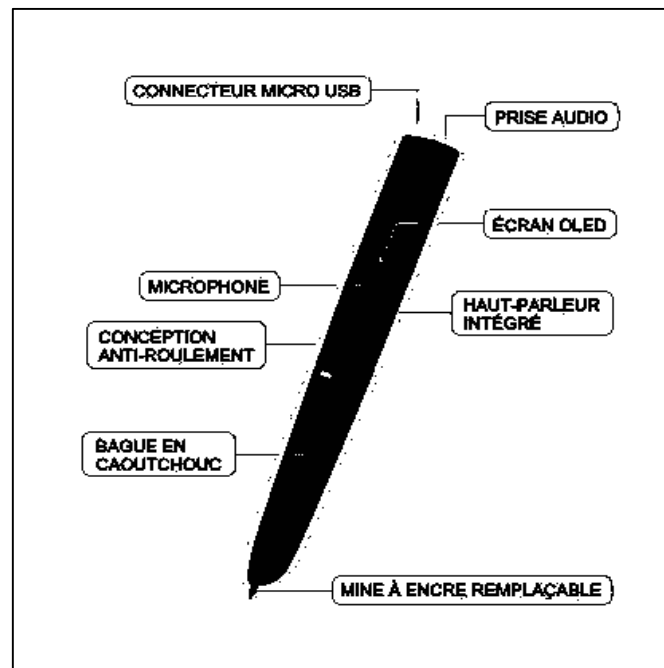


Figure 35: Stylo électronique Livescribe

³¹ Du latin « *adnoto* » qui signifie « *je mets une note à* », « *je note* ».

³² Ce développement n'est pas le premier dans ce domaine : en 1998, IBM en liaison avec Cross a débuté des recherches sur le CrossPad, cet outil évoluant vers le « ThinkPad Transnote ».

³³ Un processeur enregistre des coordonnées (x,y) horodatées des points caractéristiques de la trajectoire du stylo, la résolution est de 0,0375 (Unité de longueur : 0,0375 mm). La résolution du stylo est de 3 pixels par millimètre.

MIURA, Motoki et al., 'Estimating the Care with which Notes are Written from Online Handwritten Character Data', Kyushu Institute of Technology, Japan, ist.mns.kyutech.ac.jp/miura/papers/kesiims2013miura.pdf, p. 5.

³⁴ http://www.livescribe.com/fr/media/pdf/support/SmartpenUserManual_FR.pdf.

³⁵ Taille : Longueur : 158 mm. Largeur de la partie supérieure : 19,7 mm ; partie inférieure (pointe) : 11,5 mm. Poids : 36 g sans capuchon.

Cet ordinateur est doté d'une puissance de traitement de pointe muni d'un retour visuel et audio et d'un espace de stockage pour la saisie d'écriture manuscrite, l'enregistrement de données audio et les applications. A mesure que la pointe se déplace, une caméra infrarouge intégrée, à grande vitesse (75 images/s), prend des clichés instantanés d'une trame à points spéciale. Les coordonnées (x,y) sont horodatées toutes les 13,333 ms. Ces données numériques sont ultérieurement envoyées vers l'ordinateur. Un microphone (et haut-parleur) intégré enregistre les données audio et les associe aux notes en se fondant sur la trame de la page. L'enregistrement démarre et s'arrête en cliquant sur la touche 'record' du cahier avec la pointe du stylo³⁶ puis sur 'stop' :



Figure 36: Démarrage et arrêt de l'enregistrement graphique et audio du stylo

- un cahier format A4 au papier quadrillé d'apparence ordinaire est constitué d'une trame invisible³⁷ composée d'un motif unique de points :

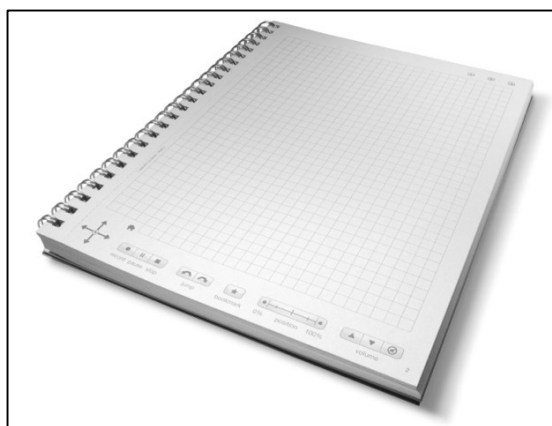


Figure 37: Cahier numérique A4

³⁶ Le stylo lit les commandes imprimées sur les carnets à papier tramé. Il reconnaît les commandes grâce au motif unique des points permettant d'activer les commandes imprimées et achemine les informations concernées vers l'application mobile *Livescribe*.

³⁷ Cette trame invisible repose sur un algorithme mathématique très élaboré. Il positionne des points de trame de 0,1 mm de diamètre, avec un léger décalage, mais unique, par rapport à une matrice orthogonale virtuelle ayant un pas de 0,3 mm. La surface minimale pour que le stylo se repère est un carré de 5 à 6 points de côté, soit environ 3 mm². C'est l'élément unitaire de ce système auquel correspond le diamètre du faisceau envoyé par la caméra.

Le stylo croise un certain nombre de points sur le papier et peut ainsi enregistrer l'emplacement exact de chaque segment manuscrit inscrit sur le papier.

- un câble micro USB permet le chargement et le transfert de données du stylo (notes graphiques et données audio) dans l'ordinateur :



Figure 38: Transfert de données du stylo vers l'ordinateur

- l'application *livescribe desktop*³⁸ : une fois numérisées, les notes et les données audio sont enregistrées sous la forme d'un document interactif appelé *pencast*³⁹ qui permet d'entendre, de voir et de faire revivre les notes exactement comme elles ont été enregistrées. Les pages du cahier sont enregistrées sur l'ordinateur sous pdf.pencast, image mobile, et pdf, image fixe.

Ce stylo numérique présente certains avantages. Identique à un stylo à bille, il est peu perturbateur puisque l'enregistrement des mouvements graphiques s'effectue à l'insu des sujets qui le manipulent. Il donne *a posteriori* une information visuelle fidèle de l'activité graphique *in situ*. Enfin, il permet de manipuler un nombre de données qu'il est impossible de traiter à la main d'où la nécessité de faire appel au traitement informatique. En revanche, son diamètre et son poids relativement importants peuvent rendre la manipulation moins aisée.

Données enregistrées par le stylo numérique

Les étapes d'enregistrement (E) des différentes données numériques rythmiques (R) et graphiques (G) durant chaque production graphique par le stylo électronique sont, chronologiquement : **t0 E t1 R t2 G t3 R t4 G t5 E**

³⁸ L'exécution de Livescribe Desktop nécessite la connexion à Internet.

³⁹ Les pages du cahier peuvent être enregistrées sur ordinateur sous format pdf.pencast (image mobile) et pdf (image fixe).

t0 E : Instant de départ de l'enregistrement de l'environnement sonore par le stylo numérique déclenché par l'auditeur (*Start Time*)

t1 R : Instant de la première frappe du rythme

t2 G : Instant de départ du traçage (*Stroke start time*) quand la pointe du stylo touche la feuille A4 pour la première fois.

t3 R : Arrêt du rythme

t4 G : Arrêt du traçage (*Stroke end time*). Ces données sont peu fiables : elles correspondent soit à la fin du traçage, soit à la fin de l'enregistrement général du stylo.

t5 E : Arrêt de l'enregistrement sonore du stylo (*Audiolist end time*)

La seule modification dans l'ordre de ces événements se produit lorsque le sujet touche – volontairement ou par inadvertance – la feuille de papier avec la pointe du stylo, avant même le déclenchement du rythme, entre t0 et t1 (Cf. infra).

- **Sujets : enfants prélecteurs de 5-6 ans**

Etant donné les activités d'écoute et de motricité fine requises durant la passation, le choix des participants s'est porté sur des sujets prélecteurs de cinq ans. Bien que leur habileté motrice⁴⁰ et leur capacité d'écoute soient encore limitées⁴¹, les jeunes enfants sont potentiellement intéressants sur le plan de l'écoute musicale incarnée, souvent accompagnée de mouvements corporels spontanés et quasiment irrépressibles, et sur le plan grapho-moteur du fait qu'ils privilégient le mode *enactif* de représentation et recourent à la motricité comme moyen de cognition et d'expression. Les enfants prélecteurs de cinq ans ont la particularité d'être encore peu inhibés sur le plan expressif et moteur tout en ayant acquis une relative maîtrise des mouvements graphiques. Au seuil de l'apprentissage systématique de la lecture, ils ont une connaissance préparatoire assez étendue des fonctions de l'écrit. Toutefois, ils ne maîtrisent pas encore les codes de l'écriture et de la lecture et ne connaissent généralement pas celui de la notation musicale. Leurs productions graphiques seront donc probablement moins influencées par ces conventions que celles d'enfants plus âgés. Comparés aux enfants plus jeunes, leur développement général devrait leur permettre de mieux s'exprimer et de s'investir davantage dans la situation de représentation graphique *enactive* du rythme.

⁴⁰ L'habileté motrice est la capacité à élaborer et à réaliser une réponse efficace et économique pour atteindre un objet précis. DURAND, Marc, *L'enfant et le sport*, PUF, Paris, 1987.

⁴¹ En comparaison à celles d'experts en audition *et* en motricité, comme des musiciens instrumentistes, des chefs d'orchestre, des danseurs ou des gymnastes, ou d'experts en audition comme des musiciens et des musicologues, ou encore d'experts en motricité fine comme des plasticiens et des graphistes.

4.1.2.4 Glossaire de l'expérience

Accélération : variation de vitesse par unité de temps. En musique, elle se produit quand, dans un temps donné, il y a plus de pulsations ou plus de frappes.

Analyse dynamique : analyse des relations entre variables au cours du temps.

Cinématique : « Etude du mouvement des corps, abstraction faite des causes qui le provoquent »⁴², elle consiste à décrire la manière dont un corps se déplace dans l'espace en fonction du temps. Elle étudie les mouvements des points matériels, le point étant un objet sans dimensions spatiales, les dimensions de l'objet peuvent être négligées.

Cinétique : théorie partielle de la mécanique qui fait appel aux notions de longueur, de temps et de masse. Prolongement de la cinématique puisque son élaboration ne demande que l'introduction de la notion de masse.

Dynamique : en musique, désigne l'intensité et l'organisation de l'intensité. En physique, ensemble de forces qui entraînent, provoquent un mouvement, une évolution à l'intérieur d'une structure en développement. La dynamique s'intéresse aux causes du mouvement, aux forces qu'elle relie au mouvement. Le terme *dynamique*, du grec, *force*, est la partie des mathématiques qui traite du mouvement, l'adjectif signifiant « Relatif au mouvement ».

Fréquence de frappes : en musique, vitesse de frappes, nombre de frappes par unité de temps.

Idiosyncrasie : manière d'être particulière à chaque individu qui l'amène à avoir un type de réaction, de comportement qui lui est propre.

Inter Onset Interval ou IOI : intervalle de temps entre les attaques, durée entre les commencements ou points d'attaque d'événements successifs ou notes et n'incluant pas la durée des événements. Unité de mesure : la seconde.

Loudness : Grandeur psychoacoustique se rattachant de façon complexe à la pression acoustique et tenant compte de la subjectivité de perception du son. La *loudness* extrait le volume sonore d'un signal audio à partir de son spectre. Unité de mesure : le sone.

Mouvement : évolution temporelle d'un ou plusieurs éléments descriptibles en termes d'échelle de temps ou de durée globale, de forme globale, de vitesse et d'accélération.

Mouvement : mouvement associé au son et exprimé en termes de flux, marche, mobilité, progression, trajet, dynamisme, développement, activité, changement, cinématique, déplacement.

⁴² Larousse.

Onset : terme utilisé en acoustique et ingénierie audio pour décrire l'initiation d'un son. Point d'attaque, de départ, point dans le temps analogue à un point géométrique dans l'espace.

Pattern rythmique : courte séquence d'événements, de l'ordre de quelques secondes, caractérisée par les durées entre les attaques successives des événements. Concerne les événements rythmiques musicaux et graphiques.

Prélecteur de cinq ans : enfant de cinq à six ans qui se situe au seuil de l'apprentissage systématique de la lecture.

'Proto' : bas niveau de spécification, haut niveau de signifiante.

Protorythme : pattern rythmique dans lequel une seule variable est mise en valeur, par exemple, avec la variation de paramètres isolés comme l'intensité ou les intervalles de durée entre les frappes. Dans ce cas, le matériau rythmique présente un bas niveau de spécification et un haut niveau de signifiante.

Représentation *enactive* : mode de représentation par l'action.

Synchronisation : revient à faire que des mouvements, des mécanismes, des forces se déroulent dans le même temps.

Traçage : action de tracer, représentation dynamique de la forme graphique.

Tracé : marque laissée par une action quelconque. Elle résulte de la projection du mouvement corporel dans le graphisme. Elle est statique et contient dans sa forme une information dynamique partielle et résiduelle du mouvement graphique.

Trajectoire : ensemble des positions successives occupées par un point matériel dans le temps.

Vitesse graphique : espace parcouru par la pointe du stylo dans l'unité de temps choisie ; rapport entre ces deux éléments

4.1.3 Réalisation de l'expérience

L'expérience s'est déroulée de janvier à mars 2015 dans une école maternelle du 9^e arrondissement de Paris suite à une série de pré-tests effectuée auprès d'élèves de diverses écoles maternelles parisiennes. 33 enfants ont participé à l'expérience, 16 filles et 17 garçons, âgés de 5 ans 3 mois à 6 ans 3 mois lors de la passation.

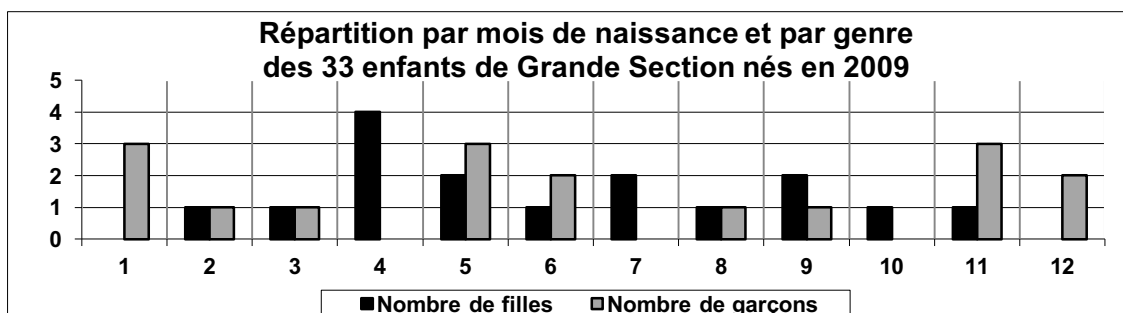


Figure 39: : Répartition par mois de naissance et par genre des 33 sujets de l'expérience

Les sujets sont codés comme suit :

PRENOM	NOM	Nés en 2009	CODAGE Genre/mois de naissance/initiales
Lucas	G.	11/01	G01LG
Robinson	I.	28/01	G01RI
Antoine	L.	29/01	G01AL
Augustine	DE P.	15/02	F02AP
Charles	T.	28/02	G02CT
Calistée	C.	10/03	F03CC
Gabriel	K.	26/03	G03GK
Valentine	F.	05/04	F04VF
Blessing	D.	11/04	F04BD
Cécile	H.T.	17/04	F04CHT
Clémence	K.B.	20/04	F04CKB
César	M.	01/05	G05CM
Théophile	M.	05/05	G05TM
Alicia	B.	09/05	F05AB
Quentin	D.	17/05	G05QD
Celia	H.	20/05	F05CH
Mendel	B.	05/06	G06MB
Léa	Z.	09/06	F06LZ
Eliott	G.C.	29/06	G06EGC
Louise	B.	05/07	F07LB
Carmen	L.	24/07	F07CL
Adèle	G.	04/08	F08AG
Achille	R.	05/08	G08AR
Victor	L.	20/09	G09VL
Hannah	N.	23/09	F09HN
Kamilia	P.	23/09	F09KP
Sixtine	R.	10/10	F10SR
Maya	F.	03/11	F11MF
Kinnolove	G.	04/11	G11KG
Rayane	E.	25/11	G11RE
Max	L.	28/11	G11ML
Sacha	R.	05/12	G12SRG
Jean-François	C.	27/12	G12JFC

Tableau 35: Liste et codage des 33 sujets de l'expérience

Limites de l'étude liée à l'échantillon

Sur le plan quantitatif, le nombre de sujets (33) semble suffisamment important pour recueillir des productions diversifiées dont on pourra extraire la fréquence de certains indices. Toutefois, la taille limitée du groupe étudié ne permet pas de produire des statistiques significatives dont on pourrait déduire des normes ou des règles : elle engendre des résultats chiffrés dont la relativité ne confère qu'une valeur indicative aux déductions. La répartition des sujets en genre et en âge s'avère équilibrée pour l'analyse intersubjective des résultats :

Enfants nés en 2009	Janvier-Avril	Mai-Août	Septembre-Décembre
Nombre de sujets	11	12	10
Genre	6 filles / 5 garçons	6 filles / 6 garçons	4 filles / 6 garçons

Tableau 36: Répartition des 33 sujets en âge et en genre

Enfin, les sujets ont des profils cognitifs⁴³, culturels et sociaux dont on n'a pu tenir précisément compte. Ils n'ont pas été spécifiquement entraînés en musique ; seuls, quelques-uns ont bénéficié d'une heure hebdomadaire d'éveil musical dans un cadre privé. Concernant l'expérience graphique de chaque enfant, L. Lurçat estime⁴⁴ qu'elle dépend de sa scolarité mais également de son mode de vie et de sa classe sociale. Dans le domaine du graphisme, le cheminement des acquisitions est très dépendant de la maturation. Il est la résultante du franchissement d'étapes communes à tous les enfants scolarisés et aussi des conditions particulières qui l'amènent à faire des expériences, conditions liées à son origine sociale. Par défaut, les données sociales ne seront pas intégrées à l'analyse.

4.2 Résultats bruts

Les enfants se sont tous investis dans l'activité d'écoute et de représentation graphique durant laquelle ils se sont montrés concentrés, s'exprimant généralement peu oralement. La passation a duré environ 10 minutes par enfant. Seuls, quelques sujets ont montré quelques signes de lassitude en fin de passation. La consigne a pu être réitérée en début de passation pour quelques enfants peu à l'aise dans la manipulation du stylo. On a varié l'adverbe, les incitant à « bouger le stylo avec/sur/comme le rythme ». Un seul enfant a exprimé son

⁴³ Un enfant (G12JFC) présente un profil cognitif atypique, avec un Quotient Intellectuel très supérieur à la moyenne.

⁴⁴ LURÇAT, Liliane, *L'acte graphique à l'école maternelle*, Paris, ESF, 1980.

incompréhension : « Ça veut dire quoi ? », mais il a répondu à la consigne de manière adéquate presque immédiatement. Un autre enfant s'est exclamé : « Oh ! On peut gribouiller, alors ! ».

Sur le plan du matériel, le support graphique n'est jamais neutre. On ne remarque pas d'effet du quadrillage finement tracé sur les productions graphiques. En revanche, l'orientation verticale de la page a entraîné dans quelques cas des interruptions lors du traçage horizontal. Un seul enfant joue avec la marge du cahier.

La pression sur la feuille ne peut être enregistrée par la pointe de ce stylo. Ce serait une donnée très importante concernant la tension musculaire associée aux rythmes. L'on observe dans quelques cas rares, des enfants qui ont des difficultés à laisser une trace bien visible, par un trop faible appui sur la feuille. On les a incités à appuyer plus fortement avec le stylo sur la page, ce qui a sans aucun doute provoqué la modification de leurs mouvements.

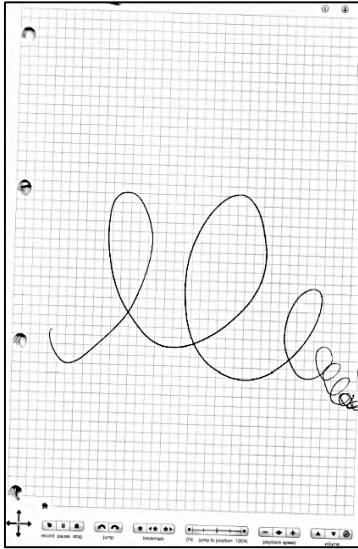
Les enfants ont recouru exclusivement au mode enactif de représentation. Aucune représentation iconique ni symbolique n'est apparue. L'absence de dessins figuratifs est assez surprenante car la représentation graphique iconique est importante à cet âge. On peut penser que d'une part, les enfants ont saisi la consigne qui focalise sur le mouvement (« bouge » avec le rythme) et sur la production graphique durant l'écoute (bouge « avec » le rythme), la brièveté des patterns limitant par ailleurs l'investissement dans la forme du graphisme.

A l'issue de la passation, on recueille un important corpus de données constitué de 792 productions sous deux formes, papier et numérique.

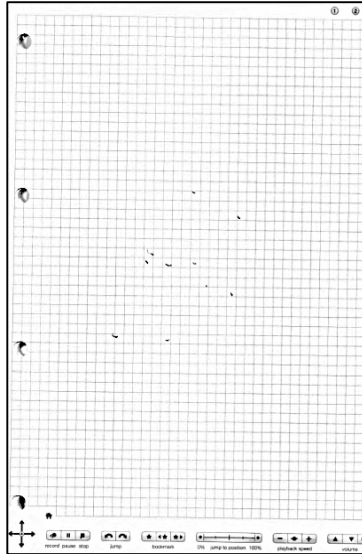
4.2.1 Traces graphiques sur papier

On recueille 792 productions graphiques sur papier A4, sur lesquelles figurent les traces graphiques de chaque item rythmique par enfant. Elles sont conservées dans des cahiers dont, pour exemple, quelques pages ont été scannées (le codage enregistre le rythme, le genre du sujet, le mois de naissance et les initiales de l'enfant. Par exemple, R14G01AL : R14 : Rythme 14 ; G : Garçon ; 01 : mois de naissance ; AL : initiales) :

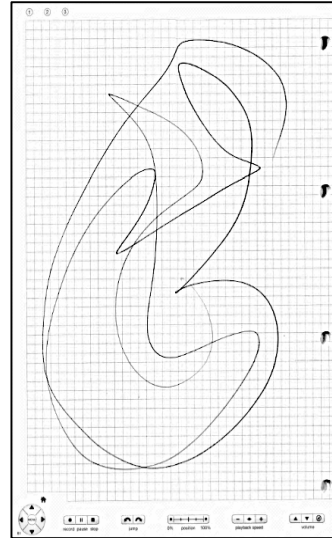
R14 G01 AL



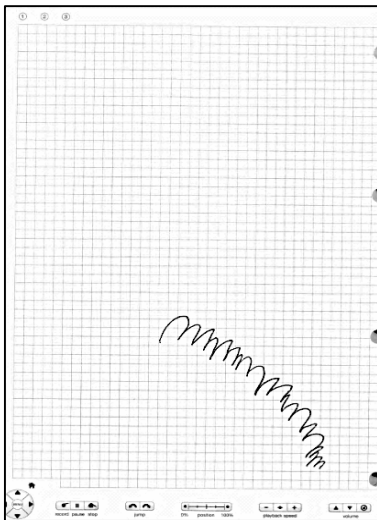
R3 F11 MF



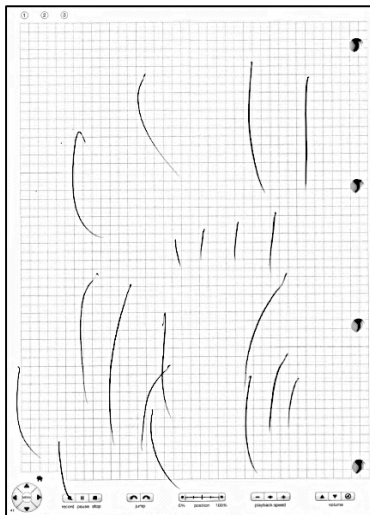
R16 F11 MF



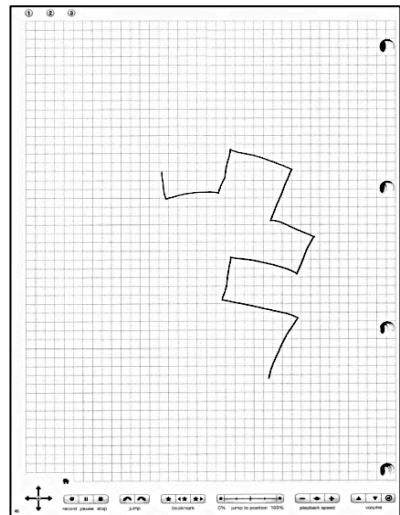
R21 G01 LG



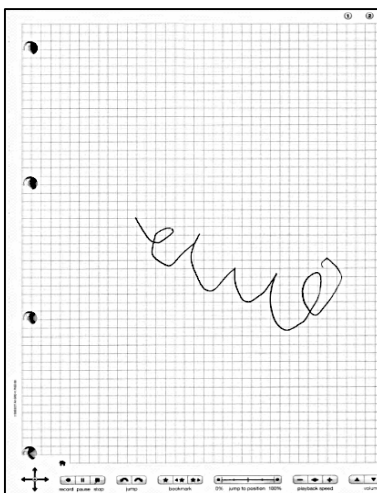
R16 F09 KP



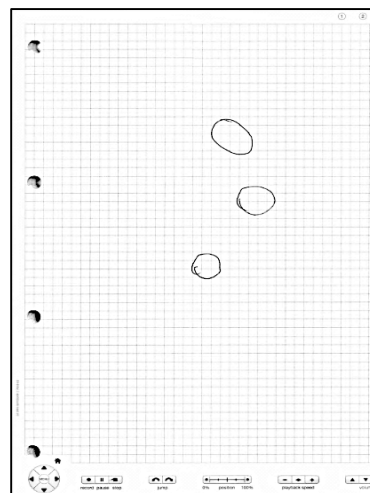
R17 F02 AP



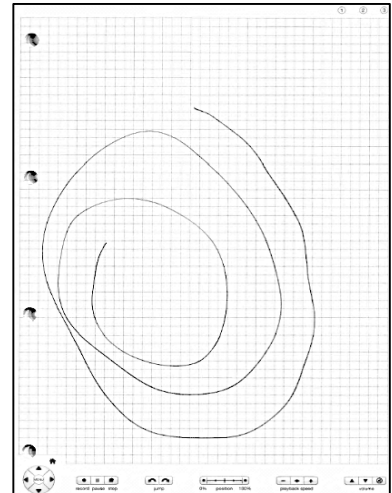
R9 G02 CT



R1 F04 CKB



R12 G11 ML



4.2.2 Traçages coordonnés avec le son

Les données numériques de chaque traçage enregistré par le stylo sont envoyées vers l'ordinateur. On recueille et conserve 792 traçages graphiques (env. 15 secondes) coordonnés avec le son de l'environnement dont les rythmes, sous différents formats :

Formats	Types de données
<i>pencast stroke data</i>	Données sonores et graphiques enregistrées dans le stylo
<i>pencast</i>	Image mobile de la trajectoire graphique
<i>pdf.pencast</i>	Image mobile de la trajectoire graphique synchronisée avec l'environnement sonore, dont le rythme
<i>.pdf</i>	Image fixe de la trajectoire, similaire au tracé sur le cahier papier A4
<i>pencast decoded.csv</i>	Coordonnées x, y du stylo horodatées toutes les 13,3333 ms

Tableau 37: Données numériques graphiques enregistrées sur ordinateur

Les 792 traçages sont archivés sur le DVD, placé en 3^e de couverture, dans le dossier 2-Vidéos : traçages sonores par rythme (24) et le dossier 3-Vidéos : traçages sonores par enfant (33). 20 productions ne sont pas évaluables en raison d'un encodage défectueux du traçage. Le traitement et l'analyse des données porte donc sur 772 productions.

4.3 Outils d'analyse et résultats transformés

L'étude de l'appariement des deux séries temporelles, rythme et graphisme, requiert une analyse dynamique des données sonores et visuelles. Aucune méthode adaptée au problème ne semblant préexister, nous avons envisagé de recourir à deux méthodes différentes. La principale méthode est une analyse audiovisuelle du traçage avec leur environnement sonore. Elle consiste dans un premier temps à déterminer des catégories d'analyse de la forme dynamique graphique, de son évolution temporelle et de son rapport au rythme, dans le temps, puis à visionner et décoder chaque traçage graphique avec l'environnement sonore, enfin à renseigner les catégories préétablies en recodant les informations dans une base de données Excel qui permet de stocker les informations en vue d'un traitement ultérieur. Un second outil d'analyse est recherché en raison du grand nombre de données à traiter, l'objectif étant d'automatiser la comparaison des deux séries temporelles sonore et graphique. Le logiciel *Matlab* permet de calculer le coefficient de corrélation entre deux courbes, ici l'une établie à partir des données numériques de vitesse graphique dans le temps et l'autre à partir de données numériques d'intensité du rythme dans le temps.

4.3.1 Outil d'analyse audiovisuelle des productions graphiques suivant le rythme

4.3.1.1 Conception de l'outil

Dans l'objectif de procéder à l'analyse des données formelles et dynamiques graphiques par rythme et par enfant, on organise de façon systématique les données graphiques recueillies en fonction des principales catégories prédéterminées rentrées dans la base de données *Excel* :

- Rythmes
- Enfants
- Productions graphiques dynamiques⁴⁵ :
 - A/ Données cinématiques : Vitesse
 - B/ Données formelles
 - Taille et forme
 - Traitement de l'espace
 - Graphisme joint/disjoint
 - Arrêt/continuité du traçage
 - C/ Synchronisation de la dynamique et de la forme du graphisme avec le son

Ces catégories se déclinent en sous-catégories présentées ci-dessous avec un exemple de production graphique :

RYTHMES

- **Rythme**

de 1 à 24

ENFANTS

- **Prénom**

Codage des 33 enfants par initiales prénom/nom

- **Genre**

F : Féminin

G : Masculin

⁴⁵ Avec analyse de l'évolution des critères durant la production.

- **Âge**

D : Nés en début d'année (janvier-avril)

M : Nés en milieu d'année (mai-août)

F : Nés en fin d'année (septembre-décembre)

PRODUCTIONS GRAPHIQUES DYNAMIQUES

A/ Données cinématiques

- **Vitesse** : estimation visuelle de l'évolution temporelle de la vitesse du traçage

Codage	Signification	Exemple
A	Accélération	R11G11ML ⁴⁶
C	Constante	R6G05TM
D	Décélération	R14F08AG
I	Instable	R20G05TM
P	Pattern cinétique ⁴⁷	R7F09HN
AD	Accélération puis décélération	R11G05QD
ADAD	Accélération puis décélération puis accélération puis décélération	R11F04VF
IA	Instable avec accélération	R19F10SR
IP	Instable puis pattern	R21G11ML
PA	Pattern et Accélération	R7F04BD
PAR	Pattern et Accélération rapide	R3F07CL
PD	Pattern et Décélération	R14G01AL
PLPR	Pattern lent puis pattern rapide	R24F03CC
PR	Pattern rapide	R8G06MB
PRD	Pattern rapide décélère	R16G01AL
PRPL	Pattern rapide puis pattern lent	R14G09VL
RD	Rapide et décélération	R16F06LZ
RI	Rapide et instable	R21G03GK
RPD	Rapide puis pattern décélère	R23F06LZ

Tableau 38: Codage de l'évolution de la vitesse graphique

⁴⁶ Rappel du codage des productions : R11G11ML : code : R11 : Rythme 11, G11 : Garçon né en novembre, ML : initiales.

⁴⁷ Un « pattern cinétique » correspond à un motif graphique qui présente un profil de vitesse propre (donc une régularité, une périodicité).

Recodage par regroupement des catégories de vitesse graphique

Pattern	Constant	Irrégulier	Accélération	Décélération	Rapide
P	C	I	A	D	PAR
IP		IP	IA	RD	AR
PA		IA	PA	PD	RD
PAR		ID	PLPR	PRPL	PR
PLPR		RI	PAR	PRD	PRD
PRPL			AR	RPD	RI
PD					RPD
PR					
PRD					
RPD					

Tableau 39: Recodage des principales catégories de vitesse graphique

- **Mesure de vitesse**

Codage	Signification	Exemple
B	Bug : Erreur de calcul de vitesse suite à un défaut de restitution des coordonnées x et/ou y du stylo dans le temps	R3F07CL
D	Début : Bug dans la première seconde du traçage	R1G06MB
M	Milieu	R2F07LB
F	Fin	R2G08AR
NE	non évaluable, suite à un problème lors du traçage ou lors du décodage des données du stylo	R1F04BD
Cellule vide	Mesure de vitesse valide	

Tableau 40: Codage de mesure de vitesse graphique

B/ Données formelles

- **Formes graphiques dominantes, simples**

Codage	Signification	Exemple
B	Boucles	R1F04VF
A	Arabesque	R11F08AG
Z	Zigzags	R13F04CHT
L	Ligne	R9F06LZ
V	Vagues	R11G12SRG
C	Cycloïde	R12G11KG
T	Traits	R8F09HN
M	Ponts	R9G01AL
P	Points	R13F04BD
I	Ligne segmentée	R7F02AP
U	Cuvettes	R6F09HN
R	Ronds	R15F09KP
G	Gribouillage	R7G06EGC

Tableau 41: Formes graphiques dominantes simples

Recodage par regroupement des formes graphiques selon leur périodicité

Périodique			Apériodique
Traçage discontinu	Traçage disjoint	Traçage continu	Traçage continu
Zigzag	Point	Boucle	Arabesque
Pont	Trait	Vague	Ligne
Cuvette	Rond	Cycloïde	Gribouillage
Zigzag appui bas			
Ligne segmentée			

Tableau 42: Recodage des formes graphiques selon leur périodicité

- Evolution temporelle de la forme graphique

Codage	Signification	Exemple
A	Une seule forme	R15G09VL
B	Deux formes successives	R2F04CHT
C	Trois formes successives	R3F07LB
D	Quatre formes successives	R21G02CT

Tableau 43: Evolution de la forme durant la production graphique

- Taille du graphisme

- mesure

Codage	Signification	Exemple
P	Petit	R6G05QD
M	Moyen	R2G06MB
G	Grand (>2/3 de la feuille)	R3G05CM
MP	Moyen puis Petit	R14F04CHT
GP	Grand puis Petit (2/3 - 1/3)	R14F03CC
PG	Petit puis Grand	R13F09KP

Tableau 44: Taille du graphisme

- évolution temporelle

Codage	Signification	Exemple
C	Croissante	R4F09KP
D	Décroissante	R14G01AL
R	Régulière	R6F09HN
TT	2 tailles décroissantes (GM, GP et MP)	R18F04VF
CD	Croissante puis décroissante	R16G05QD
DC	Décroissante puis croissante	R10G01LG

Tableau 45: Evolution temporelle de la taille

- **Traitement de l'espace**

Codage	Signification	Exemple
A	Aligné	R19F05AB
S	Sur place	R12G12SRG
D	Diffus	R5G09VL
AD	Aligné puis diffus	R12G01AL
AS	Aligné puis sur place	R15F05CH

Tableau 46: Traitement de l'espace graphique

- **Graphisme disjoint/joint**

Codage	Signification	Exemple
N	Graphisme joint	R5G09VL
O	Graphisme disjoint	R1G05CM
PP	Forme graphique globale séparée en 2 parties égales	R9G11ML
PPP	Forme graphique globale séparée en 3 parties	R20F11MF
NO	Joint puis disjoint	R17F03CKB
ON	Disjoint puis joint	R17F08AG
N Ofin	Joint puis disjoint à la fin	R5F04VF

Tableau 47: Jonction/disjonction du graphisme

- **Arrêt dans le traçage**

Codage	Signification	Exemple
O	Arrêt	R18F02AP
Cellule vide	Continu	R10G11KG
ON	Arrêt puis geste continu	R15F02AP
NO	Geste continu puis arrêt	R24G09VL
NON	Arrêt au milieu	R9G09VL
N Ofin	Geste continu puis arrêt à la fin	R5F04CHT

Tableau 48: Continuité/discontinuité du graphisme

C/ Synchronisation du graphisme avec le son

Codage	Signification	Exemple
N	Production asynchrone	R20F3CC
O	Synchrone	R14G01LG
VO	Volonté de synchronisation : intention perceptible dans la production graphique mais réalisation approximative (décalage régulier avec le son, synchronisation irrégulière, suivant une des caractéristiques du son (accélère quand accélération du son mais pas en proportion)	R3F02AP R13G12SRG
ON	Synchrone puis asynchrone	R20F04VF
NO	Asynchrone puis synchrone	R4F09KP
Vide	Production non évaluable	

Tableau 49: Codage de la synchronisation du graphisme avec le son

Recodage par regroupement des catégories de synchronisation

Synchronisé en tout ou partie	Rapport avec le son	Non synchronisé
O	VO	N
ON		
NO		

Tableau 50: Recodage des principales catégories de synchronisation

- **Élément rythmique de synchronisation graphique**

Codage	Signification	Exemple
D	½ pulsation	R1F05CH R8G06MB
P	Pulsation	R22F03CC R2G03GK
U	1 pulsation sur 2	R2F06LZ R3F09KP
F/	1 frappe sur 2	R12F04CKB
F	Frappes	R1F07LB R5F04BD
L	Intensité ou hauteur	R10F09HN R13G11ML
N	Indéterminé, fluctuation entre différents éléments rythmiques	R4G01LG
V	Fréquence de frappes	R19G06EGC
PD	Pulsation puis ½ pulsation	R12G01RI
DP	½ pulsation puis pulsation	R4F04CKB
PF	Pulsation puis frappes	R22G01RI
FP	Frappes puis pulsation	R24G11KG R22F09HN
DV	½ pulsation puis fréquence de frappes	R19F02AP
VD	Fréquence de frappes puis ½ pulsation	R23F06LZ
DF	½ pulsation puis frappes	R18G12SRG
FD	Frappes puis ½ pulsation	R24F05CH
FV	Frappes puis fréquence de frappes	R22F07LB
VF	Fréquence de frappes puis frappes	R16G05TM
FL	Frappes puis Intensité ou hauteur	R13F10SL
PU	Pulsation puis 1 pulsation sur 2	R24G05TM
PV	Pulsation puis fréquence de frappes	R22G11ML
VP	Fréquence de frappes puis pulsation	R23G08AR

Tableau 51: Éléments rythmiques de synchronisation graphique

Recodage par regroupement des éléments rythmiques de synchronisation graphique

Pulsation	Frappe	Instable	Intensité	Indéterminé
P	F	DP/PD	L	N
U	F/	PF/FP	FL	
D	PF	DV/VD		
PD	FP	DF/FD		
DP	DF	FV/VF		
PF	FD	FL		
FP	FV	PU		
PU	VF	PV/VP		
PV	FL			
VP				

Tableau 52: Recodage des principaux éléments rythmiques de synchronisation graphique

Ainsi, les 772 traçages avec l'environnement sonore sont analysés et décodés suivant la forme et la dynamique du graphisme et suivant les liens entre éléments graphiques et éléments rythmiques puis recodés dans une base de données Excel. On limite l'absence de contrôle et la subjectivité de la méthode en renouvelant l'opération de décodage/recodage des productions à trois reprises et à distance dans le temps. On donne ci-dessous un aperçu de la base de données Excel renseignée selon les propriétés formelles et dynamiques du graphisme, par rythme et par enfants (772 lignes) :

	A	EC	D	E	F	G	H	I	J
1	RYTHME	ENFANT	GENRE	AGE	VITESSE	MESURE	synchro	PULSATION	
2	1 à 24	initiales	F=filles	D=janv-avril	A=accélération	Bug=B		D=dempulsation=D	
3			G=garçon	M=mai-août	D=décélération	NE=Non évalué	Oui	F=Frappe F/=1frappe/2	
4				F=sept-déc	C=constante	D:Début	Non	P=pulsation	
5					I=Irréguli fluctue	M:milieu	ON=début et pas fin	U=1 Sur 2 pulsation	
6					P= Pattern cinétique régulier	F:fin	NO= à la fin		
7					R=Très rapide		VO= volonté de synchronis	12=puls puis 1/2	
8					L=lent			Synchro loudness=L	
9								V: fréquence des frappes	
10	ligne 14 à 805								
11								n= nesaispas	
12	Vitesse max								
13	RYTH	ENFANT	GENRE	AGE	VITESSE	MESURE	SYNCHRONICITE	Synchron avec élément sonore	
14	R1	AP	F	D	P		VO		F
15	R1	CC	F	D	P		O		F
16	R1	BD	F	D	P	D	O		F
17	R1	CHT	F	D	P		NO		F
18	R1	CKB	F	D	P		O		U
19	R1	VF	F	D	P		O		P

K	L	M	N	O	P
TAILLE	EVOLUTION TAILLE	FORME	DYNAMIQUE FORME	FORME DOMINANTE	DYNAMIQUE FORMES DOMINANT
=irrégulière	C= Croissante	point = P	A=1 forme		A=1forme
Croissante	D= Décroissante	trait = T	B=2 formes successives		B=2formes
Décroissante	R= Régulière	rond = R			
Petit (<1/8 page)		Arabesque=A G=Gribouillage			
Moyen(1/3 page)	TT= 2 tailles décroiss	Ligne courbe=L i=lignesegmentée			
Grand (>1/3 page) mini)	boucle endroit=	trogyreHoraire DS=boucle endroit/envers			
B='une' boucle		Senestogyre (antihoraire)			
		cycloïde=C (spirale)			
		Zigzag=Z W(appui bas)			
		Cuvette=U (avec arrêts haut) Vague=V (sans arrêt)			
		Ponts m (appui bas)	dynamiq formes	FORME DOMINANTE	dynamique formes dominantes
MESURE TAIL	DYNAMIQUE TAILLE	FORME GRAPHQ	Dynamique forme		ABCD
P	R	UW	B	Z	A
M	R	Z	A	Z	A
G	R	Z	A	Z	A
M	R	Z	A	Z	A
M	R	R	A	R	A
G	R	D	A	B	A

Q	R	S	T
TRAITEMENT ESPACE	MOTIF	DISJOINTS	ARRETS
Aligné/succession=A	sans=S		
Diffus=D	Uniforme=U(ex/des boucles puis des zigzag)		
Sur place=S	Varié=V (ex:boucle puis zigzag boucle zigzag)		
AP		PP=2 parties	8:8 ronds
		N Ofin: petit graph isolé à la fin	
		DISJOINTS	
		ARRETS marqués sans décoller stylo	
SB =senest appui bas		O= Réguliers	NO:non oui
		ON= au début puis NON arrêt au milieu	
		NON=pas début, oui, non	
TRAIT ESPACE	MOTIF	GRAPHISM DISJOINT	ARRETS DS TRACE
ADS AD AS	SUV	O	O
A	U		O
S	U		O
A	U		O
A	U		O
A	U	O	
D	U		

Tableau 53: Aperçus de la base de données Excel renseignée selon les propriétés formelles et dynamiques du graphisme, par rythme et par enfant

4.3.1.2 Résultats des propriétés graphiques selon les 24 rythmes et selon les 33 enfants

Le traitement des données dans la base Excel aboutit à la présentation des données sous forme de tableaux et de graphiques.

- **Tableaux des résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les 24 rythmes**

Les tableaux sont renseignés avec les données en pourcentage⁴⁸ du nombre de productions graphiques qui présentent des propriétés graphiques dynamiques et formelles et de synchronisation audio-motrice en fonction des rythmes (Cf. Annexe I : Tableaux des résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les 24 rythmes). Pour exemple, ci-dessous, les résultats obtenus pour les rythmes R1 Trot, R2 Galop, R3 Grand galop et R4 Sept sauts :

GRAPHISME	RYTHME			
	R1 Trot	R2 Galop	R3 Grand galop	R4 Sept sauts
Nombre de productions analysées sur 33	32	33	33	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	60%	75%	90%	80%
Vitesse élevée		5%	40%	5%
Vitesse irrégulière	30%	10%	5%	25%
Accélération	3%	25%	25%	3%
Décélération		3%	3%	5%
Problème de mesure de vitesse	13%	20%	40%	15%
Problème lié à vitesse élevée		3%	35%	3%
Problème lié à forte accélération			15%	3%
Problème en début de production	10%	5%	15%	5%
Lié à vitesse			12%	3%
Lié à accélération			3%	3%
Problème en milieu de production	3%	5%	10%	5%
Lié à vitesse		3%	10%	
Lié à accélération			3%	
Problème en fin de production		10%	15%	3%
Lié à vitesse			12%	
Lié à accélération			10%	
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	70%	50%	75%	70%
Périodique et continue	15%	20%	45%	45%
Périodique et discontinue	40%	20%	15%	20%
Périodique et disjointe	13%	10%	15%	5%
Apériodique et jointe	30%	20%	10%	10%
Nombre de formes graphiques : 1	100%	70%	85%	80%
2		20%	15%	12%
3				5%
Taille : Grand	15%	20%	35%	40%
Moyen	55%	45%	45%	55%
Petit	30%	25%	20%	5%

⁴⁸ Nombre de productions enfantines/nombre de productions totales (33 par rythmes).

Moyenne-petite				
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	90%	90%	70%	45%
Croissante	3%	10%	25%	50%
Décroissante		3%	5%	3%
- Traitement de l'espace : Aligné	90%	80%	80%	80%
Diffus	10%	15%	20%	20%
Sur place	3%	3%		
- Graphisme Joint	85%	85%	80%	85%
Disjoint	15%	15%	20%	15%
Joint-disjoint				
Disjoint-joint				
Continu	60%	60%	75%	65%
Discontinu	40%	40%	25%	35%
Continu /arrêt				
Arrêt/continu				
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchrone	45%	50%	50%	45%
Intention de synchronisation	20%	30%	10%	10%
Synchrone	25%	25%	40%	35%
Asynchrone	14	20%	20%	20%
Désynchronisation	5%	20%	12%	20%
Synchronisation	5%	10%	20%	15%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation	10%	60%	70%	65%
Frappe	40%			
Élément indéterminé				
Demi-pulsation	3%	3%		3%
Intensité ou hauteur				
1 pulsation sur 2	3%	5%	3%	
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation	15%	80%	80%	90%
Frappes	45%	3%		
Intensité				
Élément instable		10%	5%	10%
Élément indéterminé				
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation		5%	5%	
Frappes puis fréquence de frappes				
Fréquence de frappes puis frappes				
Pulsation puis fréquence de frappes				
Demi-pulsation puis pulsation				5%

Tableau 54: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R1 à R4

- **Graphiques**

Les données sont également présentées sous forme graphique, avec le nombre de productions enfantines présentant une propriété particulière en fonction des rythmes et des enfants. Des graphiques présentent les données selon les rythmes rangés en abscisse dans l'ordre de présentation durant la passation (de 1 à 24), le nombre de productions graphiques

est en ordonnée (33 productions au maximum). A titre d'exemple, le graphique ci-dessous présente le nombre de productions graphiques dont la vitesse est élevée (supérieure à 50 cm/s), par rythme :

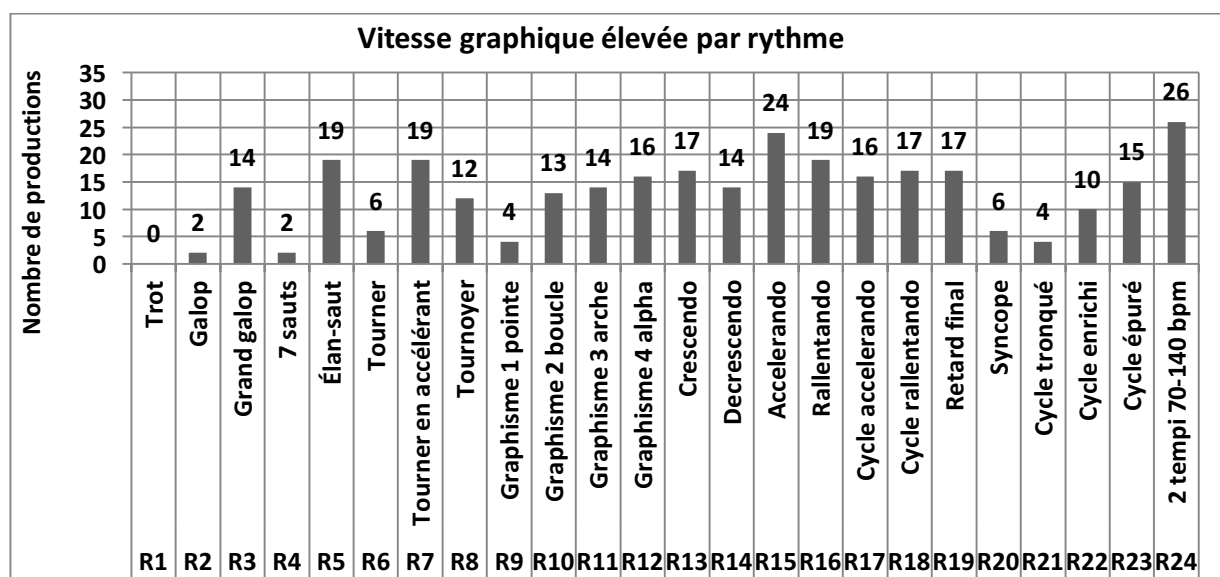


Figure 40: Nombre de productions avec vitesse graphique élevée (>50 cm/s) par rythme

Des graphiques présentent les données selon les sujets rangés en abscisse par genre et par âge (de 1 à 16 : Filles, de la plus âgée à la plus jeune ; de 17 à 33 : Garçons, du plus âgé au plus jeune). En ordonnée, le nombre de productions graphiques est au maximum de 24. A titre d'exemple, le graphique ci-dessous présente le nombre de productions graphiques dont la vitesse graphique est élevée (supérieure à 50 cm/s), par enfant :

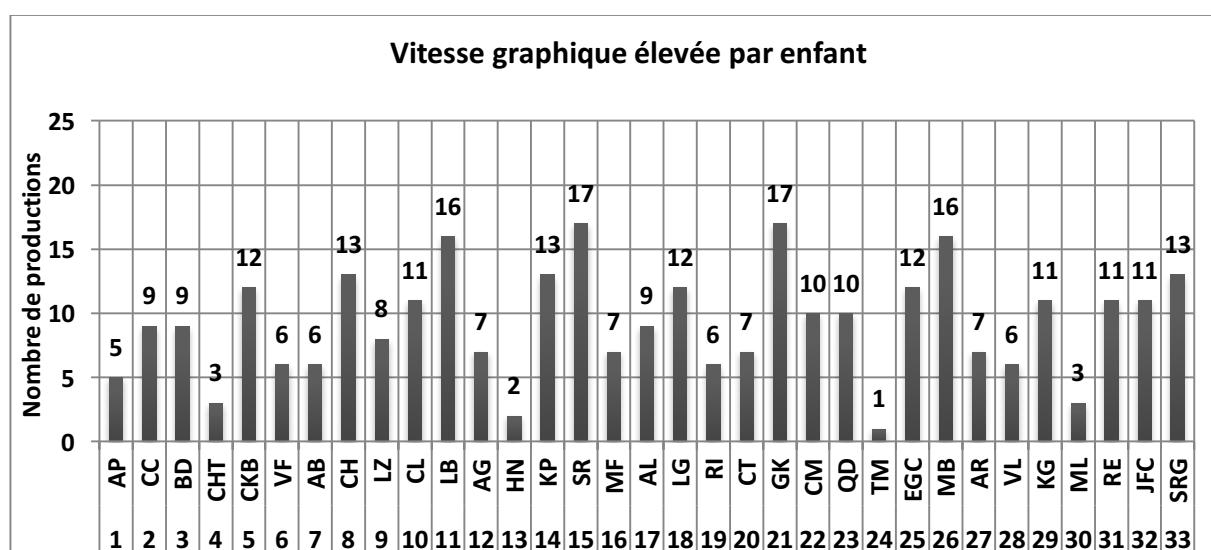


Figure 41: Nombre de production avec vitesse graphique élevée par enfant

4.3.2 Outils de comparaison de profils temporels rythmiques et graphiques

L'analyse des relations entre les deux séries temporelles, sonore et graphique, nécessite la recherche d'outils de traitement des données brutes en vue d'extraire des données numériques de propriétés rythmiques et de propriétés graphiques dans le temps. La comparaison entre ces deux séries temporelles peut être estimée visuellement avec l'analyse comparée des profils temporels rythmiques et graphiques. Ces graphiques ont en commun le temps en abscisse et en ordonnée, dans le cas du rythme, une propriété d'intensité ou de durées du rythme, dans le cas du graphisme, la valeur de la vitesse. La comparaison entre ces deux séries temporelles est également mesurée avec le taux de corrélation entre courbes d'évolution de propriétés sonores, ici courbes d'intensité perçue, et courbes d'évolution de la vitesse graphique.

4.3.2.1 Traitement des données rythmiques

On recherche une forme d'analyse du son qui permette de produire des profils temporels de propriétés d'intensité et de durées du rythme.

- **Méthode d'analyse**

Le sonagramme permet de passer de la forme acoustique à une forme de signaux électriques numérisés qui permet un traitement par l'ordinateur. Cette représentation par un graphique est un choix d'analyse du son. Le graphique présente quelque chose d'un objet dans des formes d'expression qui lui sont spécifiques et pour des contenus qu'il contribue à déterminer⁴⁹. Contrairement à ce qu'expriment les termes *transcription*, *conversion* et *traduction*, il ne s'établit pas une équivalence entre présentation sonore et présentation graphique⁵⁰. Entre le graphique et le son, il n'y a ni symétrie ni transitivité. Toutefois, la représentation graphique du son est porteuse d'informations sur le contenu musical.

⁴⁹ Spécialiste des graphiques, le sémioticien S. Badir fait l'examen d'une partie du corpus des graphiques de sons à partir duquel il soulève des problèmes théoriques et notamment des questions de polysensorialité et de polysémotivité : Comment deux sens se rencontrent-ils ? De quelle manière et dans quelle mesure les graphiques, relevant du domaine des énoncés visuels, parviennent-ils à représenter des objets qui ne sont pas visuels ? BADIR, Sémir, « A quoi servent les graphiques », *Visible*, n° 4, Limoges, Presses universitaires de Limoges, 2008, p. 173-194.

⁵⁰ S. Badir précise qu'une transcription s'établit entre des textes appartenant à différents systèmes d'écriture ; une conversion, entre deux quantités dont les unités diffèrent ; une traduction, entre deux textes appartenant à des systèmes linguistiques distincts. Une relation d'équivalence est établie entre l'objet-source et l'objet-cible. Ces trois opérations sont symétriques, la cible et la source étant commutables. Il existe en outre une possibilité de transitivité entre les objets transcrits, convertis ou traduits, ce qui n'est pas le cas entre graphique et son.

Etape 1 : extraction et visualisation de caractéristiques sonores

Sonic Visualiser est un programme informatique spécialement conçu⁵¹ pour analyser des enregistrements sonores. Il permet d'extraire et de visualiser les caractéristiques du son sélectionnées et d'étudier la structure d'un fichier audio en affichant une analyse visuelle de celui-ci sous forme de spectres⁵². La représentation de la forme d'onde est un graphique symétrique de l'intensité dans le temps qui visualise les attaques et les pauses.

Etape 2 : extraction de données sonores d'instant des frappes et d'intensité à l'instant des frappes

Sonic Visualiser permet d'étudier la composition sonore et d'opérer diverses manipulations grâce à diverses options disponibles. Différentes couches transparentes peuvent être superposées, la première étant l'onde sonore, les autres, la visualisation de caractéristiques du son sélectionnées⁵³. La méthode de caractérisation des événements sonores s'effectue via des modules d'extension⁵⁴. A partir de fichiers audio, on extrait deux caractéristiques sonores de bas niveau : la durée et l'intensité.

Durées : instant des frappes et intervalles entre les frappes

Pour établir des profils temporels des durées rythmiques, on cherche à détecter les attaques du son. Une attaque est un événement sonore caractérisé par une forte variation du signal sur un instant très court⁵⁵. Dans la norme Midi, la notion d'événement sonore correspond à un *onset*, qui est le temps du début de l'attaque. La détection d'*onset*⁵⁶ est une indexation audio, une description réduite de l'enregistrement sonore qui permet la comparaison de plusieurs enregistrements. Le terme d'*Onset* est utilisé en acoustique et en ingénierie audio pour décrire l'attaque⁵⁷, l'initiation d'un son. La perception auditive de

⁵¹ CANNAM, Chris, LANDONE, Christian and SANDLER, Mark, *Sonic Visualiser: An Open Source Application for Viewing, Analysing, and Annotating Music Audio Files*, Proceedings of the ACM Multimedia 2010 International Conference, 2010. Le logiciel Sonic Visualiser est développé par le Centre for Digital Music de l'université Queen Mary de Londres, <http://www.sonicvisualiser.org>.

⁵² Le sonagramme permet de visualiser la décomposition du spectre sonore. Le graphique représente l'évolution du spectre dans le temps. C'est l'image d'un signal. Il permet d'analyser les modulations de fréquences et d'amplitude.

⁵³ Des *Vamp Plugins* permettent d'extraire certaines caractéristiques du son. Pour les IOI, on installe les Plugins Paul Brossier's aubio (en particulier le Plugin *Aubio Onset Detector*). Pour le volume sonore, on installe *Libxtract Vamp Plugins* de Chris Cannam et Jamie Bullock.

⁵⁴ L'indexation rythmique permet de représenter le rythme grâce à un nombre restreint de variables puis de fixer des mesures de similarité entre les représentations, donc des distances entre les variables des différents extraits afin de pouvoir les comparer. GOYEAU, Jean-Baptiste, *Descripteurs et algorithmes de caractérisation de l'aspect rythmique du son et de la musique*, DEA Acoustique, Traitement du signal et informatique appliqués à la musique, IRCAM, 2004, p. 7.

⁵⁵ Cette variation est appelée transitoire. Lorsqu'elle correspond effectivement à un début de note, elle est appelée transitoire d'attaque.

⁵⁶ Différentes méthodes de détection d'onset sont basées sur un algorithme qui permet de repérer les débuts des notes dans un enregistrement audio d'un morceau de musique.

⁵⁷ C'est un point de départ, un point dans le temps analogue à un point géométrique dans l'espace.

l'attaque du son percussif a lieu au même moment ou quelques millisecondes après l'instant de l'attaque physique du son :

« Pour les sons hautement percussifs, le moment du début de la perception coïncide avec le moment d'apparition physique et le moment d'attaque perçue pourrait aussi être le même, ou juste quelques millisecondes plus tard. »⁵⁸

Un *Inter Onset Interval* (IOI) est l'intervalle de temps (en secondes) entre les points d'attaque d'événements successifs ou notes. Il n'inclue pas la durée des événements.

Pour représenter l'évolution des IOI dans le temps, on recourt à la fréquence de frappes, $F=1/\text{IOI}$, qui est le nombre d'occurrences par unité de mesure (en secondes)⁵⁹. Son évolution dans le temps est présentée par un graphique avec le temps en abscisses et la fréquence de frappes en ordonnées.

Intensité

Pour établir des profils temporels d'intensité du rythme, dans le cadre de l'analyse de l'écoute de patterns rythmiques, on extrait des données de *sonie – loudness*, quantification de la perception du son chez l'être humain. Cette grandeur psychoacoustique se rattache de façon complexe à la pression acoustique et tient compte de la subjectivité de perception du son. La *loudness* extrait le volume sonore d'un signal audio à partir de son spectre. Son unité de mesure est le sone⁶⁰.

Etape 3 : représentation numérique de sons musicaux

Les données numériques sont sélectionnées et transférées dans un tableur Excel qui permet de présenter les rythmes sous forme graphique d'évolution temporelle.

4.3.2.2 Profils temporels de propriétés d'intensité et de fréquence de frappes des 24 rythmes

Les 24 patterns rythmiques percussifs sont présentés sous trois formes graphiques : un sonagramme, un profil temporel d'intensité perçue et un profil temporel de fréquence de frappes (Cf. Annexe II : Graphiques des 24 patterns rythmiques percussifs : sonagramme, profil d'intensité et profil de fréquence de frappes par rythme). A titre d'exemple, on présente

⁵⁸ Traduction de l'auteur. “*For highly percussive sounds, the perceptual onset might be the same as the physical onset time, and the perceptual attack time might also be the same, or just a few milliseconds later.*”, WRIGHT, Matt, “A scientific View of Musical Rhythm”, *Music, Science, and the Rhythmic Brain: Cultural and Clinical Implications*, ed. Jonathan Berger and Gabe Turrow, New York, Routledge, 2011, p. 76.

⁵⁹ La « vitesse musicale » correspond au nombre d'événements par unité de temps.

⁶⁰ Un sone correspond au niveau sonore d'un son pur de un kHz et de niveau de pression de 40 dB. Deux sones correspondent à la perception par l'oreille humaine d'un son deux fois plus intense que celui d'un sone.


Un sone correspond à la sensation produite par 40 phones. $x \text{ sones} = (10 \log_2 x + 40) \text{ phones}$.

Un phone est le niveau de volume d'une onde sonore, jugée par une personne ayant une audition normale et dans des conditions d'écoute standard, qui a le même volume qu'une onde sonore ayant un niveau de pression acoustique de 1 décibel à 1 kilohertz. (0 phone = seuil d'audibilité ; 130 phones = seuil de la douleur).

ci-dessous les graphiques du rythme R1 « Trot » et du rythme R24 « Deux tempi 70-140 bpm » sous leur transcription :

RYTHME 1 « TROT »

1 Trot 3.6



Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 25: Rythme 1 « Trot »

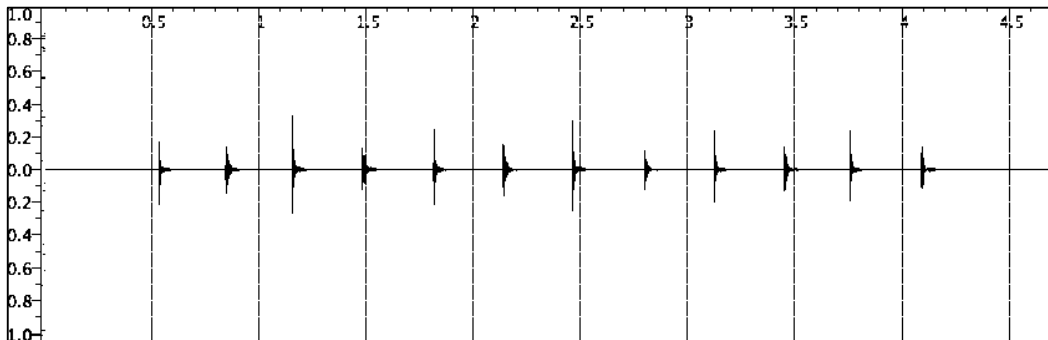


Figure 42: Sonagramme du rythme 1 "Trot" (Fréquence (Hz) / Temps (s))

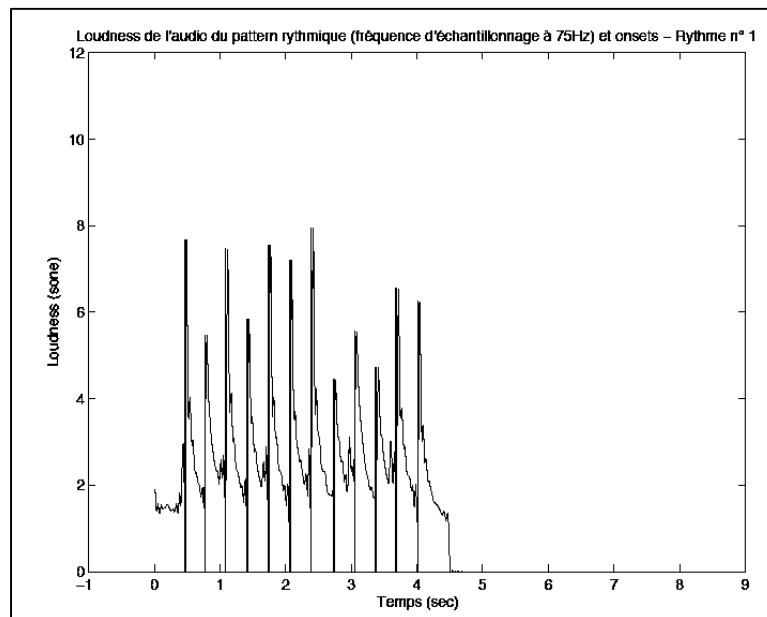


Figure 43: Profil temporel de loudness de l'audio et onsets du rythme 1 « Trot »

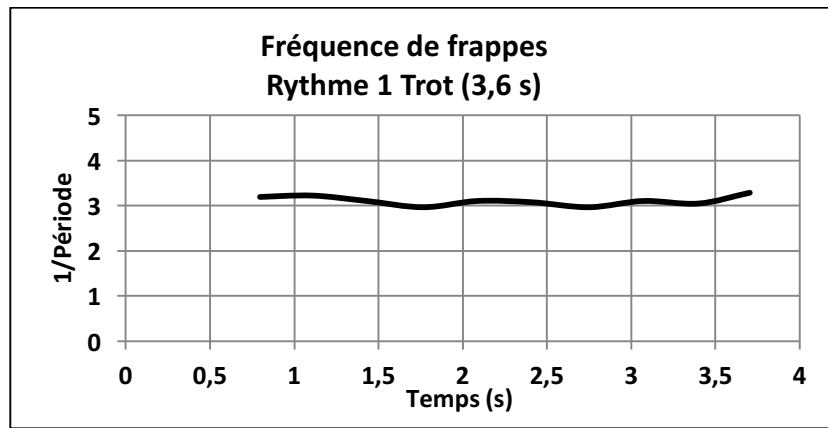
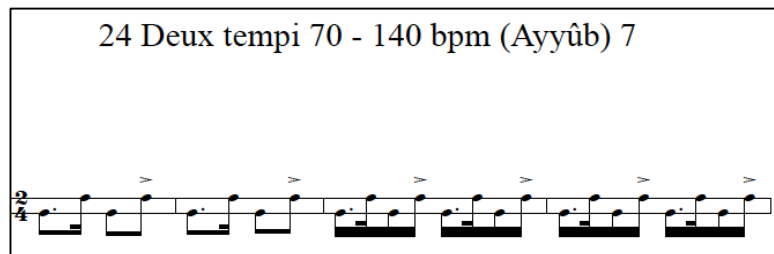


Figure 44: Profil temporel de la fréquence de frapes du rythme 1 "Trot"

RYTHME 24 « Deux tempi 70-140 bpm »



Exemple musical 26: Rythme 24 "Deux tempi 70-140 bpm"

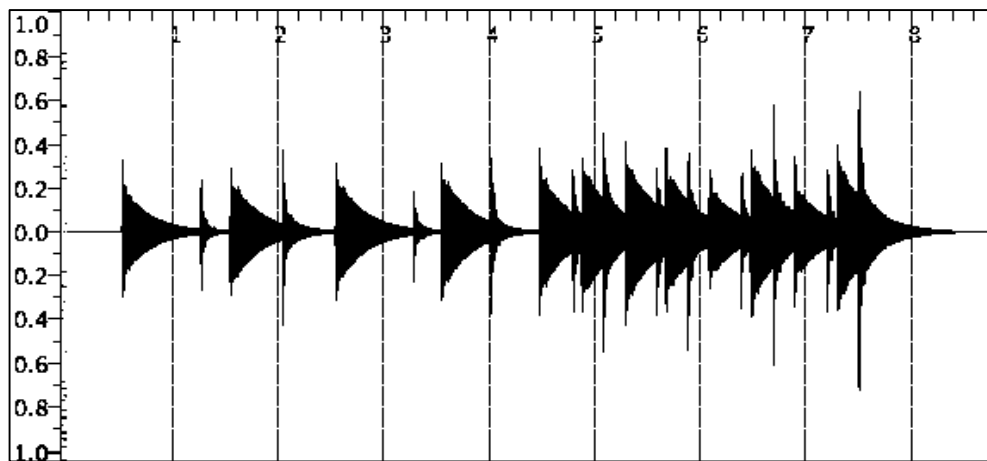


Figure 45: Sonagramme du rythme 24 « Tempi 70-140 bpm » (Fréquence (Hz) / Temps (s))

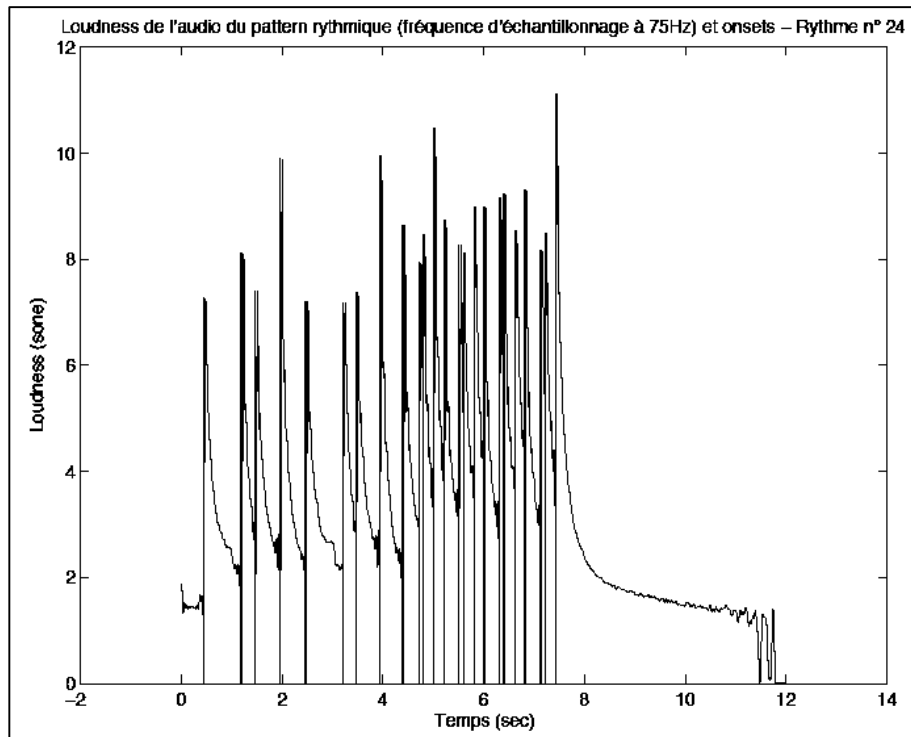


Figure 46: Profil temporel de loudness de l'audio et onsets du rythme 24 « Tempi 70-140 bpm »

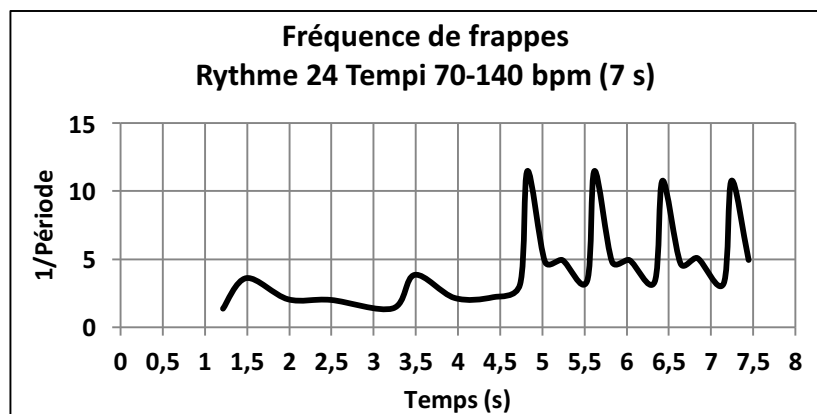


Figure 47: Profil temporel de la fréquence de frappes du rythme 24 « Tempi 70-140 bpm »

4.3.2.3 Traitement des données graphiques

De même que pour le son, le traitement des données graphiques vise à les extraire du stylo électronique, à les présenter sous forme de courbes en vue d'effectuer des calculs de comparaison de courbes sonores et graphiques. La vitesse de la pointe du stylo électronique sur la feuille est une donnée abstraite du mouvement graphique. Elle permet de décrire l'évolution spatio-temporelle de la pointe du stylo électronique et d'en étudier les liens avec l'évolution temporelle des propriétés d'intensité et de durées du rythme.

Le logiciel du stylo électronique enregistre les coordonnées (x,y) de la pointe du stylo sur le papier horodatées toutes les 13,333 millisecondes en moyenne. Ces données

numériques sont envoyées dans l'ordinateur. Elles sont ensuite décodées à l'aide d'un programme informatique⁶¹ qui permet d'extraire ces coordonnées horodatées du stylo pour chaque enregistrement audiovisuel. Elles sont finalement exportées dans une feuille de calcul Excel dans laquelle sont entrées des formules de calcul de vitesse.

Formules de calcul⁶² utilisées dans le tableau Excel :

Pour toutes les formules, on notera x_i et y_i l'abscisse et l'ordonnée du i -ème point.

Unité de longueur : $1u = 0,0375$ mm

- Distance depuis le dernier point (donc entre les points i et $i - 1$) :

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$$

- Distance totale : il s'agit à chaque nouveau point d'ajouter la distance depuis le point précédent.

- Vitesse depuis le dernier point : on divise la distance entre deux points par la différence de temps. Donc si on note d_i la distance entre les points $i - 1$ et i , et t_i le temps au point i , on a :

$$v_i = \frac{d_i}{t_i - t_{i-1}} = \frac{d_i}{\delta t} \quad \delta t = 13,333 \text{ ms}$$

Le tableau Excel est renseigné comme suit :

1	2	3	4	5	6	7
Temps initialisé en s	Temps en ms	Abscisse	Ordonnée	Distance depuis le dernier point	Distance totale	Vitesse depuis le dernier point en cm/s
Temps rapporté à une origine de 0 sec.	Données du stylo	x	y	$=((C3 - C2)^2 + (D3 - D2)^2)^{(1/2)}$	F2+E3	$(E3/13,333) \times 3,75^*$

Tableau 55: Tableau de calcul de la vitesse graphique

⁶¹ Trois informaticiens ont contribué au décodage des coordonnées horodatées du stylo numérique :

Acteurs	Fonction
J. Laird-Wah	Reverse engineering du format de fichier Pencast de DLL Création d'un algorithme de décodage Implémentation en langage Python
J. Olivier	Portage de Python vers java-script et optimisation
G. Guillot	Veille et coordination technique Intégration du programme java-script, interfaçage et automatisation

⁶² J. Marché et C. Colin, respectivement agrégés de mathématiques et de physique, ont participé à l'élaboration ou à la vérification des formules de calcul ; le Pr. L. Daudet, de l'Institut Langevin (Ondes et Images) a validé les formules et vérifié les données entrées dans le tableau Excel.

Cette feuille de calcul permet d'obtenir deux représentations graphiques : la forme de la trajectoire (tracé résiduel qui est identique à la trace laissée par le stylo sur le papier durant l'expérience) et l'évolution temporelle de la vitesse graphique.

4.3.2.4 Trajectoire et profil temporel de vitesse graphique

On obtient les trajectoires et profils temporels de vitesse des 772 productions graphiques enfantines (Cf. DVD en 3^e de couverture, dossier 5-Fichiers Excel⁶³ : trajectoires et de profils temporels de vitesses graphiques par rythme (24) et dossier 6-Fichiers Excel : trajectoires et de profils temporels de vitesses graphiques par enfant (33)). A titre d'exemple, on présente ci-dessous la transformation des résultats obtenus à partir de la production graphique infantine R1F04VF⁶⁴, avec la trace graphique initiale sur papier, la feuille de calcul du fichier Excel après importation des coordonnées (x,y) horodatées du stylo et résultat du calcul de la vitesse, et la représentation numérique finale de la trajectoire et du profil temporel de la vitesse du traçage.

- Trace graphique initiale sans traitement, conservée sur papier et scannée :

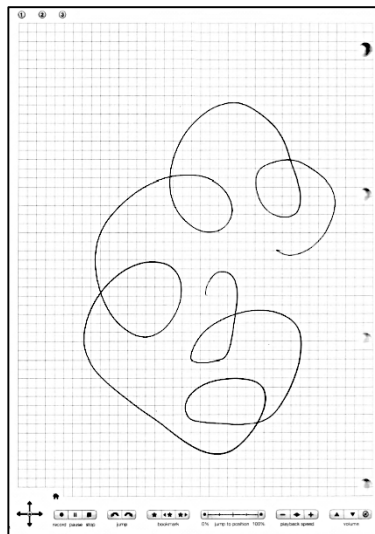


Figure 48: Trace graphique sur papier du rythme R1 par l'enfant F04VF

- Feuille de calcul Excel après importation des données numériques brutes du stylo (colonnes 2, 3 et 4) et résultat du calcul de vitesse (colonne 7) :

⁶³ Pour une lecture optimale, copier le dossier sur l'ordinateur.

⁶⁴ Codage : R1 : Rythme 1 « Trot », F04 : Fille née en avril, VF : Initiales de l'enfant.

1	2	3	4	5	6	7
Temps initialisé en s	Temps en ms	Abscisse	Ordonnée	Distance depuis le dernier point	Distance totale	Vitesse depuis le dernier point en cm/s
0,39	-1548168752	3356	4711	0	0	0
0,403333	-1548168739	3354	4704	7,280109889	7,280109889	2,047582096
0,416666	-1548168726	3355	4688	16,03121954	23,31132943	4,508893218
0,429999	-1548168712	3359	4666	22,36067977	45,67200921	6,289098414
0,443332	-1548168699	3362	4643	23,19482701	68,86683622	6,523708189
0,456665	-1548168686	3367	4620	23,53720459	92,40404081	6,620004292
0,469998	-1548168672	3375	4596	25,29822128	117,7022621	7,115302618
0,483331	-1548168659	3383	4573	24,35159132	142,0538534	6,849056286
0,496664	-1548168646	3394	4548	27,31300057	169,366854	7,681973459
0,509997	-1548168633	3410	4519	33,12099032	202,4878443	9,315511416
0,52333	-1548168619	3432	4483	42,19004622	244,6778905	11,86624716
0,536663	-1548168606	3457	4448	43,01162634	287,6895169	12,09732234
0,549996	-1548168592	3483	4418	39,69886648	327,3883833	11,16558534
0,563329	-1548168579	3509	4398	32,80243893	360,1908223	9,225916598
0,576662	-1548168566	3538	4383	32,64965543	392,8404777	9,182945165
0,589995	-1548168552	3566	4378	28,44292531	421,283403	7,999772737
0,603328	-1548168539	3599	4375	33,13608305	454,4194861	9,319756352
0,616661	-1548168526	3630	4376	31,01612484	485,4356109	8,723503198
0,629994	-1548168512	3660	4382	30,59411708	516,029728	8,604810549
0,643327	-1548168499	3688	4391	29,41088234	545,4406103	8,272017458
0,65666	-1548168486	3711	4404	26,41968963	571,8603	7,430723476
0,669993	-1548168472	3731	4421	26,2488095	598,1091095	7,382662238
0,683326	-1548168459	3751	4441	28,28427125	626,3933807	7,955150167
0,696659	-1548168446	3766	4463	26,62705391	653,0204346	7,489046139
0,709992	-1548168432	3779	4484	24,69817807	677,7186127	6,946536246
0,723325	-1548168419	3790	4509	27,31300057	705,0316132	7,681973459
0,736658	-1548168406	3799	4535	27,51363298	732,5452462	7,738402737
0,749991	-1548168393	3807	4564	30,08321791	762,6284641	8,461116566
0,763324	-1548168379	3814	4597	33,73425559	796,3627197	9,487996584
0,776657	-1548168366	3820	4636	39,45883931	835,821559	11,09807601
0,78999	-1548168353	3825	4684	48,25971405	884,0812731	13,57338391
0,803323	-1548168339	3825	4742	58	942,0812731	16,31290782
0,816656	-1548168326	3821	4798	56,14267539	998,2239485	15,79052222
0,829989	-1548168313	3814	4859	61,40032573	1059,624274	17,26927334
0,843322	-1548168299	3807	4926	67,36467917	1126,988953	18,94678969
0,856655	-1548168286	3792	5021	96,17692031	1223,165874	27,0504351
0,869988	-1548168273	3774	5155	135,2035502	1358,369424	38,02694918
0,883321	-1548168259	3748	5317	164,0731544	1522,442578	46,14672835
0,896654	-1548168246	3719	5457	142,9720252	1665,414604	40,21188739
0,909987	-1548168233	3683	5557	106,282642	1771,697246	29,89274039
0,92332	-1548168219	3644	5618	72,40165744	1844,098903	20,36347524
0,936653	-1548168206	3612	5648	43,8634244	1887,962327	12,33689653
0,949986	-1548168193	3571	5665	44,38468204	1932,34701	12,48350391
0,963319	-1548168179	3511	5677	61,18823416	1993,535244	17,2096211
0,976652	-1548168166	3435	5691	77,27871635	2070,81396	21,73518235
0,989985	-1548168152	3348	5699	87,36704184	2158,181002	24,57259483
1,003318	-1548168139	3258	5698	90,00555538	2248,186557	25,31469532
1,016651	-1548168126	3190	5685	69,23149572	2317,418053	19,47184497
1,029984	-1548168112	3151	5669	42,15447782	2359,572531	11,85624329
1,043317	-1548168099	3139	5647	25,05992817	2384,632459	7,048281005
1,05665	-1548168086	3147	5601	46,69047012	2431,322929	13,13202302
1,069983	-1548168072	3170	5515	89,02246907	2520,345398	25,03819538
1,083316	-1548168059	3231	5398	131,946959	2652,292357	37,11101001
1,096649	-1548168046	3325	5273	156,4001279	2808,692485	43,98863568
1,109982	-1548168032	3451	5166	165,3027525	2973,995238	46,49256147
1,123315	-1548168019	3602	5079	174,2699056	3148,265143	49,01463632
1,136648	-1548168006	3758	5013	169,3871306	3317,652274	47,6413215
1,149981	-1548167992	3914	4968	162,3607095	3480,012983	45,66509118

1,163314	-1548167979	4064	4944	151,9078668	3631,92085	42,72515567
1,176647	-1548167966	4211	4942	147,0136048	3778,934455	41,34861007
1,18998	-1548167952	4347	4962	137,4627222	3916,397177	38,66235718
1,203313	-1548167939	4468	4999	126,5306287	4042,927806	35,58762901
1,216646	-1548167926	4573	5055	119	4161,927806	33,46958674
1,229979	-1548167912	4659	5127	112,1605991	4274,088405	31,54595716
1,243312	-1548167899	4721	5217	109,2886087	4383,377014	30,73818966
1,256645	-1548167886	4756	5326	114,4814395	4497,858453	32,19870984
1,269978	-1548167872	4764	5454	128,2497563	4626,10821	36,07114575
1,283311	-1548167859	4752	5592	138,5207566	4764,628966	38,95993678
1,296644	-1548167846	4722	5738	149,0503271	4913,679293	41,92145253
1,309977	-1548167832	4679	5880	148,3677863	5062,04708	41,72948312
1,32331	-1548167819	4630	6009	137,9927534	5200,039833	38,81143219
1,336643	-1548167806	4580	6123	124,4829306	5324,522764	35,01169951
1,349976	-1548167792	4521	6228	120,4408569	5444,96362	33,87483786
1,363309	-1548167779	4458	6327	117,3456433	5562,309264	33,00428728
1,376642	-1548167766	4391	6416	111,4001795	5673,709443	31,3320838
1,389975	-1548167752	4313	6489	106,8316433	5780,541086	30,04715084
1,403308	-1548167739	4229	6541	98,79271228	5879,333799	27,78614498
1,416641	-1548167726	4142	6574	93,04837452	5972,382173	26,1705096
1,429974	-1548167712	4051	6592	92,76313923	6065,145312	26,09028517
1,443307	-1548167699	3964	6603	87,69264507	6152,837958	24,66417303
1,45664	-1548167686	3877	6609	87,20665112	6240,044609	24,52748382
1,469973	-1548167672	3779	6608	98,00510191	6338,049711	27,56462403
1,483306	-1548167659	3674	6600	105,3043209	6443,354031	29,61758069
1,496639	-1548167646	3571	6593	103,2375901	6546,591622	29,03629811
1,509972	-1548167632	3473	6587	98,18350167	6644,775123	27,61480021
1,523305	-1548167619	3386	6580	87,2811549	6732,056278	24,54843853
1,536638	-1548167606	3300	6572	86,37129153	6818,42757	24,29253306
1,549971	-1548167592	3224	6560	76,94153625	6895,369106	21,64034808
1,563304	-1548167579	3159	6542	67,44627492	6962,815381	18,96973906
1,576637	-1548167566	3114	6511	54,64430437	7017,459685	15,36909483
1,58997	-1548167552	3080	6464	58,00862005	7075,468305	16,31533227
1,603303	-1548167539	3063	6399	67,18630813	7142,654613	18,89662158
1,616636	-1548167526	3064	6327	72,00694411	7214,661557	20,25245934
1,629969	-1548167512	3089	6255	76,21679605	7290,878354	21,4365098
1,643302	-1548167499	3133	6182	85,23496935	7376,113323	23,97293445
1,656635	-1548167486	3199	6114	94,76286192	7470,876185	26,65272123
1,669968	-1548167473	3284	6054	104,0432602	7574,919445	29,26289851
1,683301	-1548167459	3382	6005	109,5673309	7684,486776	30,81658223
1,696634	-1548167446	3496	5969	119,5491531	7804,035929	33,6240399
1,709967	-1548167433	3623	5946	129,0658747	7933,101804	36,30068476
1,7233	-1548167419	3756	5936	133,37541	8066,477214	37,51277189
1,736633	-1548167406	3891	5940	135,0592463	8201,53646	37,98636267
1,749966	-1548167393	4018	5959	128,4133949	8329,949855	36,11717026
1,763299	-1548167379	4121	5998	110,1362792	8440,086134	30,97660295
1,776632	-1548167366	4192	6065	97,62171889	8537,707853	27,45679486
1,789965	-1548167353	4231	6153	96,25487001	8633,962723	27,072359
1,803298	-1548167339	4240	6260	107,3778376	8741,340561	30,20077183
1,816631	-1548167326	4217	6379	121,2023102	8862,542871	34,08900197
1,829964	-1548167313	4165	6507	138,1593283	9000,702199	38,85828255
1,843297	-1548167299	4090	6637	150,0833102	9150,785509	42,21198629
1,85663	-1548167286	3998	6765	157,632484	9308,417993	44,3352445
1,869963	-1548167273	3893	6879	154,9870962	9463,405089	43,5912106
1,883296	-1548167259	3787	6965	136,4990842	9599,904174	38,39132723
1,896629	-1548167246	3678	7019	121,6429201	9721,547094	34,21292659
1,909962	-1548167233	3574	7042	106,51291	9828,060004	29,95750488
1,923295	-1548167219	3467	7041	107,0046728	9935,064677	30,09581662
1,936628	-1548167206	3353	7018	116,2970335	10051,36171	32,7093584
1,949961	-1548167193	3238	6974	123,1300126	10174,49172	34,63118182
1,963294	-1548167179	3128	6914	125,2996409	10299,79136	35,24140503
1,976627	-1548167166	3023	6843	126,7517258	10426,54309	35,64981413
1,98996	-1548167153	2919	6766	129,4024729	10555,94556	36,3953554
2,003293	-1548167139	2822	6689	123,8466794	10679,79224	34,8327494
2,016626	-1548167126	2726	6612	123,0650235	10802,85727	34,61290317

2,029959	-1548167113	2632	6544	116,0172401	10918,87451	32,63066454
2,043292	-1548167099	2544	6483	107,0747403	11025,94925	30,11552358
2,056625	-1548167086	2462	6426	99,86490875	11125,81415	28,08770778
2,069958	-1548167073	2378	6368	102,0784012	11227,89256	28,71026811
2,083291	-1548167059	2285	6299	115,8015544	11343,69411	32,57000142
2,096624	-1548167046	2187	6223	124,016128	11467,71024	34,88040801
2,109957	-1548167033	2086	6142	129,4681428	11597,17838	36,41382551
2,12329	-1548167019	1986	6058	130,5986217	11727,777	36,73178066
2,136623	-1548167006	1890	5973	128,2224629	11855,99947	36,06346929
2,149956	-1548166993	1801	5885	125,1598977	11981,15936	35,20210129
2,163289	-1548166979	1723	5794	119,8540779	12101,01344	33,70980217
2,176622	-1548166966	1661	5691	120,2206305	12221,23407	33,81289765
2,189955	-1548166953	1615	5586	114,6342008	12335,86827	32,24167503
2,203288	-1548166939	1585	5473	116,9144987	12452,78277	32,88302483
2,216621	-1548166926	1577	5347	126,2537128	12579,03648	35,50974447
2,229954	-1548166913	1593	5208	139,917833	12718,95432	39,35287436
2,243287	-1548166899	1629	5058	154,2595216	12873,21384	43,38657511
2,25662	-1548166886	1685	4910	158,2403236	13031,45416	44,50620366
2,269953	-1548166873	1761	4770	159,298462	13190,75262	44,80381254
2,283286	-1548166859	1847	4647	150,0833102	13340,83593	42,21198629
2,296619	-1548166846	1944	4536	147,4109901	13488,24692	41,46037747
2,309952	-1548166833	2052	4440	144,4991349	13632,74606	40,64139774
2,323285	-1548166819	2160	4359	135	13767,74606	37,96969924
2,336618	-1548166806	2272	4297	128,015624	13895,76168	36,0052944
2,349951	-1548166793	2388	4254	123,7133784	14019,47506	34,79525756
2,363284	-1548166779	2501	4231	115,3169545	14134,79202	32,4337043
2,376617	-1548166766	2609	4228	108,0416586	14242,83367	30,38747618
2,38995	-1548166753	2709	4243	101,1187421	14343,95242	28,44035722
2,403283	-1548166739	2799	4270	93,96275858	14437,91518	26,42768654
2,416616	-1548166726	2871	4318	86,53323061	14524,44841	24,33807956
2,429949	-1548166713	2930	4384	88,52683209	14612,97524	24,898794
2,443282	-1548166699	2975	4468	95,29428105	14708,26952	26,8021866
2,456615	-1548166686	2998	4566	100,6628035	14808,93232	28,31212128
2,469948	-1548166673	3007	4673	107,3778376	14916,31016	30,20077183
2,483281	-1548166659	2990	4788	116,2497312	15032,55989	32,6960543
2,496614	-1548166646	2955	4909	125,9603112	15158,5202	35,42722321
2,509947	-1548166633	2896	5026	131,0343466	15289,55455	36,85433135
2,52328	-1548166619	2824	5133	128,9689885	15418,52354	36,27343486
2,536613	-1548166606	2741	5224	123,1665539	15541,69009	34,64145932
2,549946	-1548166593	2646	5288	114,5469336	15656,23703	32,217113051
2,563279	-1548166579	2545	5326	107,9120012	15764,14903	30,35100911
2,576612	-1548166566	2440	5330	105,0761629	15869,22519	29,55340964
2,589945	-1548166553	2328	5304	114,9782588	15984,20345	32,33844375
2,603278	-1548166539	2214	5242	129,7690256	16113,97247	36,49845091
2,616611	-1548166526	2105	5154	140,0892573	16254,06173	39,40108863
2,629944	-1548166513	2008	5046	145,1654229	16399,22715	40,8287959
2,643277	-1548166499	1931	4929	140,064271	16539,29142	39,39406106
2,65661	-1548166486	1874	4811	131,0457935	16670,33722	36,85755087
2,669943	-1548166473	1827	4690	129,8075499	16800,14477	36,50928613
2,683276	-1548166459	1789	4572	123,9677377	16924,11251	34,86679791
2,696609	-1548166446	1762	4447	127,8827588	17051,99526	35,96792511
2,709942	-1548166433	1746	4310	137,9311422	17189,92641	38,79410361
2,723275	-1548166419	1741	4168	142,0880009	17332,01441	39,96324933
2,736608	-1548166406	1754	4028	140,6022759	17472,61668	39,54537874
2,749941	-1548166393	1784	3897	134,39122	17607,0079	37,79847557
2,763274	-1548166379	1828	3782	123,1300126	17730,13792	34,63118182
2,776607	-1548166366	1879	3680	114,0394669	17844,17738	32,07440191
2,78994	-1548166353	1937	3590	107,0700705	17951,24745	30,11421019
2,803273	-1548166339	2006	3508	107,1680923	18058,41555	30,14177949
2,816606	-1548166326	2080	3426	110,4536102	18168,86916	31,06585451
2,829939	-1548166312	2159	3348	111,0180166	18279,88717	31,22459777
2,843272	-1548166299	2253	3269	122,7884359	18402,67561	34,53511099
2,856605	-1548166286	2351	3194	123,4058345	18526,08144	34,70875869
2,869938	-1548166272	2456	3128	124,0201597	18650,1016	34,88154194
2,883271	-1548166259	2562	3073	119,4194289	18769,52103	33,58755407

2,896604	-1548166246	2669	3029	115,6935608	18885,21459	32,53962745
2,909937	-1548166232	2776	2996	111,9732111	18997,1878	31,49325295
2,92327	-1548166219	2883	2972	109,658561	19106,84636	30,84224134
2,936603	-1548166206	2993	2959	110,7655181	19217,61188	31,15358081
2,949936	-1548166192	3103	2954	110,1135777	19327,72546	30,97021799
2,963269	-1548166179	3208	2961	105,2330746	19432,95854	29,59754218
2,976602	-1548166166	3309	2979	102,5914226	19535,54996	28,85455898
2,989935	-1548166152	3399	3008	94,5568612	19630,10682	26,59478208
3,003268	-1548166139	3482	3049	92,57429449	19722,68111	26,03717125
3,016601	-1548166126	3556	3102	91,02197537	19813,70309	25,60057059
3,029934	-1548166112	3619	3164	88,39117603	19902,09426	24,86063977
3,043267	-1548166099	3670	3234	86,60831369	19988,70258	24,3591972
3,0566	-1548166086	3710	3308	84,11896338	20072,82154	23,65904993
3,069933	-1548166072	3738	3386	82,87339742	20155,69494	23,30872574
3,083266	-1548166059	3748	3463	77,64663547	20233,34157	21,83866219
3,096599	-1548166046	3735	3540	78,08969202	20311,43127	21,96327496
3,109932	-1548166032	3707	3616	80,99382693	20392,42509	22,78008332
3,123265	-1548166019	3662	3683	80,7093551	20473,13445	22,70007362
3,136598	-1548166006	3600	3738	82,8794305	20556,01388	23,31042259
3,149931	-1548165992	3524	3775	84,52810184	20640,54198	23,77412299
3,163264	-1548165979	3432	3790	93,21480569	20733,75679	26,21731953
3,176597	-1548165966	3335	3784	97,18538985	20830,94218	27,33407425
3,18993	-1548165952	3230	3747	111,3283432	20942,27052	31,31187932
3,203263	-1548165939	3129	3679	121,7579566	21064,02848	34,24528143
3,216596	-1548165926	3033	3593	128,8875479	21192,91602	36,25052911
3,229929	-1548165912	2952	3492	129,4681428	21322,38417	36,41382551
3,243262	-1548165899	2893	3376	130,1422299	21452,5264	36,60341724
3,256595	-1548165886	2851	3250	132,8156617	21585,34206	37,35533874
3,269928	-1548165872	2832	3109	142,2743828	21727,61644	40,01567055
3,283261	-1548165859	2837	2958	151,0827588	21878,6992	42,49308823
3,296594	-1548165846	2861	2804	155,8589106	22034,55811	43,8364145
3,309927	-1548165832	2905	2652	158,2403236	22192,79843	44,50620366
3,32326	-1548165819	2966	2507	157,3086139	22350,10705	44,24415376
3,336593	-1548165806	3035	2379	145,4132044	22495,52025	40,89848619
3,349926	-1548165792	3119	2264	142,411376	22637,93163	40,05420084
3,363259	-1548165779	3210	2164	135,2072483	22773,13888	38,02798929
3,376592	-1548165766	3306	2078	128,8875479	22902,02642	36,25052911
3,389925	-1548165752	3402	2008	118,8107739	23020,8372	33,41636557
3,403258	-1548165739	3504	1955	114,9478142	23135,78501	32,329881
3,416591	-1548165726	3606	1920	107,8378412	23243,62285	30,3301511
3,429924	-1548165712	3706	1900	101,9803903	23345,60324	28,68270183
3,443257	-1548165699	3803	1899	97,0051545	23442,6084	27,28338179
3,45659	-1548165686	3889	1916	87,66413178	23530,27253	24,65615347
3,469923	-1548165672	3968	1947	84,86459804	23615,13713	23,86876492
3,483256	-1548165659	4045	1987	86,76981042	23701,90694	24,4046193
3,496589	-1548165646	4120	2036	89,58794562	23791,49489	25,19273964
3,509922	-1548165632	4191	2089	88,60022573	23880,09511	24,91943647
3,523255	-1548165619	4260	2146	89,49860334	23969,59371	25,17211149
3,536588	-1548165606	4325	2208	89,82761268	24059,42133	25,26464768
3,549921	-1548165592	4386	2276	91,35097153	24150,7723	25,69310307
3,563254	-1548165579	4443	2354	96,60745313	24247,37975	27,17152548
3,576587	-1548165566	4493	2442	101,2126474	24348,5924	28,46676876
3,58992	-1548165552	4534	2539	105,3090689	24453,90147	29,61891611
3,603253	-1548165539	4568	2641	107,5174404	24561,41891	30,24003613
3,616586	-1548165526	4600	2736	100,2447006	24661,66361	28,19452691
3,629919	-1548165512	4631	2822	91,41662868	24753,08024	25,71156961
3,643252	-1548165499	4661	2908	91,08238029	24844,16262	25,6175599
3,656585	-1548165486	4691	2997	93,92017888	24938,0828	26,4157107
3,669918	-1548165472	4718	3099	105,5130324	25043,59583	29,67628226
3,683251	-1548165459	4743	3202	105,9905656	25149,58639	29,81059184
3,696584	-1548165446	4750	3302	100,2447006	25249,8311	28,19452691
3,709917	-1548165432	4742	3385	83,38465087	25333,21575	23,45251937
3,72325	-1548165419	4726	3446	63,0634601	25396,27921	17,73704158
3,736583	-1548165406	4701	3492	52,35456045	25448,63377	14,72508825
3,749916	-1548165392	4674	3523	41,10960958	25489,74338	11,56236675

3,763249	-1548165379	4634	3547	46,64761516	25536,39099	13,11996976
3,776582	-1548165366	4587	3564	49,979996	25586,37099	14,05722531
3,789915	-1548165352	4527	3570	60,29925373	25646,67024	16,9595891
3,803248	-1548165339	4464	3566	63,12685641	25709,7971	17,75487224
3,816581	-1548165326	4393	3549	73,00684899	25782,80395	20,53368962
3,829914	-1548165312	4326	3517	74,24957912	25857,05353	20,88321621
3,843247	-1548165299	4262	3469	80	25937,05353	22,50056251
3,85658	-1548165286	4205	3411	81,32035416	26018,37388	22,8719214
3,869913	-1548165272	4159	3338	86,28441342	26104,65829	24,26809798
3,883246	-1548165259	4127	3258	86,16263691	26190,82093	24,23384748
3,896579	-1548165246	4106	3170	90,47098983	26281,29192	25,44560203
3,909912	-1548165232	4095	3082	88,68483523	26369,97676	24,94323349
3,923245	-1548165219	4097	3008	74,02702209	26444,00378	20,82062048
3,936578	-1548165206	4111	2946	63,56099433	26507,56477	17,87697658
3,949911	-1548165192	4136	2898	54,12023651	26561,68501	15,22169706
3,963244	-1548165179	4165	2862	46,22769733	26607,91271	13,00186492
3,976577	-1548165166	4209	2830	54,40588203	26662,31859	15,30203687
3,98991	-1548165152	4262	2804	59,03388857	26721,35248	16,60369625
4,003243	-1548165139	4326	2780	68,35202996	26789,70451	19,22448904
4,016576	-1548165126	4404	2757	81,32035416	26871,02486	22,8719214
4,029909	-1548165112	4492	2740	89,62700486	26960,65187	25,20822532
4,043242	-1548165099	4585	2738	93,02150289	27053,67337	26,16295176
4,056575	-1548165086	4674	2749	89,67719889	27143,35057	25,22234275
4,069908	-1548165072	4753	2774	82,86132994	27226,2119	23,30533168
4,083241	-1548165059	4823	2809	78,26237921	27304,47428	22,01184445
4,096574	-1548165046	4887	2848	74,94664769	27379,42092	21,07927164
4,109907	-1548165032	4950	2890	75,71657678	27455,1375	21,29581962
4,12324	-1548165019	5011	2934	75,21303079	27530,35053	21,15419376
4,136573	-1548165006	5070	2981	75,43208866	27605,78262	21,21580533
4,149906	-1548164992	5121	3028	69,35416354	27675,13678	19,50634615
4,163239	-1548164979	5165	3081	68,8839604	27744,02074	19,37409821
4,176572	-1548164966	5202	3139	68,79680225	27812,81755	19,34958437
4,189905	-1548164952	5232	3200	67,9779376	27880,79548	19,11927293
4,203238	-1548164939	5249	3263	65,2533524	27946,04884	18,35296419
4,216571	-1548164926	5260	3328	65,9241989	28011,97304	18,54164448
4,229904	-1548164912	5261	3395	67,00746227	28078,9805	18,84631992
4,243237	-1548164899	5253	3462	67,47592163	28146,45642	18,97807741
4,25657	-1548164886	5236	3526	66,21933252	28212,67575	18,62465289
4,269903	-1548164872	5214	3589	66,73080248	28279,40655	18,76850741
4,283236	-1548164859	5187	3655	71,30918594	28350,71574	20,05620995
4,296569	-1548164846	5159	3720	70,77428912	28421,49003	19,90576646
4,309902	-1548164832	5125	3783	71,58910532	28493,07913	20,13493924
4,323235	-1548164819	5085	3842	71,28113355	28564,36027	20,04832002
4,336568	-1548164806	5044	3895	67,00746227	28631,36773	18,84631992
4,349901	-1548164792	4995	3945	70,00714249	28701,37487	19,69000108
4,363234	-1548164779	4946	3990	66,52818951	28767,90306	18,71152109
4,376567	-1548164766	4897	4028	62,00806399	28829,91113	17,440204
4,3899	-1548164752	4843	4062	63,81222453	28893,72335	17,94763684
4,403233	-1548164739	4786	4088	62,64982043	28956,37317	17,62070251
4,416566	-1548164726	4727	4110	62,96824597	29019,34142	17,71026193
4,429899	-1548164712	4671	4124	57,72347876	29077,0649	16,23513428
4,443232	-1548164699	4619	4130	52,34500931	29129,40991	14,72240193
4,456565	-1548164686	4571	4126	48,16637832	29177,57628	13,54713258
4,469898	-1548164672	4527	4118	44,72135955	29222,29764	12,57819683
4,483231	-1548164659	4488	4105	41,10960958	29263,40725	11,56236675
4,496564	-1548164646	4455	4089	36,67424164	29300,08149	10,31488833
4,509897	-1548164632	4430	4073	29,68164416	29329,76314	8,348171124
4,52323	-1548164619	4411	4061	22,47220505	29352,23534	6,320465683
4,536563	-1548164606	4401	4054	12,20655562	29364,4419	3,433179596
4,549896	-1548164592	4397	4052	4,472135955	29368,91404	1,257819683
4,563229	-1548164579	4399	4052	2	29370,91404	0,562514063
4,576562	-1548164566	4400	4053	1,414213562	29372,32825	0,397757508
4,589895	-1548164552	4401	4053	1	29373,32825	0,281257031
4,603228	-1548164539	4403	4054	2,236067977	29375,56432	0,628909841
4,616561	-1548164526	4403	4055	1	29376,56432	0,281257031

4,629894	-1548164512	4404	4055	1	29377,56432	0,281257031
4,643227	-1548164499	4406	4055	2	29379,56432	0,562514063
4,65656	-1548164486	4412	4056	6,08276253	29385,64708	1,710819732
4,669893	-1548164472	4419	4059	7,615773106	29393,26285	2,141989736
4,683226	-1548164459	4428	4060	9,055385138	29402,31824	2,546890742
4,696559	-1548164446	4436	4063	8,544003745	29410,86224	2,40306113
4,709892	-1548164432	4441	4066	5,830951895	29416,69319	1,63999622
4,723225	-1548164419	4445	4069	5	29421,69319	1,406285157
4,736558	-1548164406	4446	4069	1	29422,69319	0,281257031
4,749891	-1548164392	4445	4069	1	29423,69319	0,281257031
4,763224	-1548164379	4446	4069	1	29424,69319	0,281257031
4,776557	-1548164366	4446	4069	0	29424,69319	
4,78989	-1548164352	4446	4068	1	29425,69319	0,281257031
4,803223	-1548164339	4445	4068	1	29426,69319	0,281257031
4,816556	-1548164326	4446	4068	1	29427,69319	0,281257031
4,829889	-1548164312	4445	4068	1	29428,69319	0,281257031
4,843222	-1548164299	4445	4068	0	29428,69319	0
4,856555	-1548164286	4445	4068	0	29428,69319	0
4,869888	-1548164272	4445	4068	0	29428,69319	0
4,883221	-1548164259	4445	4067	1	29429,69319	0,281257031
4,896554	-1548164246	4446	4066	1,414213562	29431,10741	0,397757508
4,909887	-1548164232	4454	4053	15,26433752	29446,37174	0

Tableau 56: Feuille de calcul de vitesse du traçage sur le rythme 1 par l'enfant F04VF

- Représentations numériques de la trajectoire de la pointe du stylo et graphique de l'évolution temporelle de la vitesse. La forme de la trajectoire résultante est équivalente à la trace initiale enregistrée sur le cahier, ce qui garantit que la vitesse calculée correspond à la vitesse réelle initiale du stylo sur la feuille. Une trajectoire différente indiquerait en amont une erreur d'encodage des coordonnées (x,y) qui induirait une erreur de calcul de vitesse.

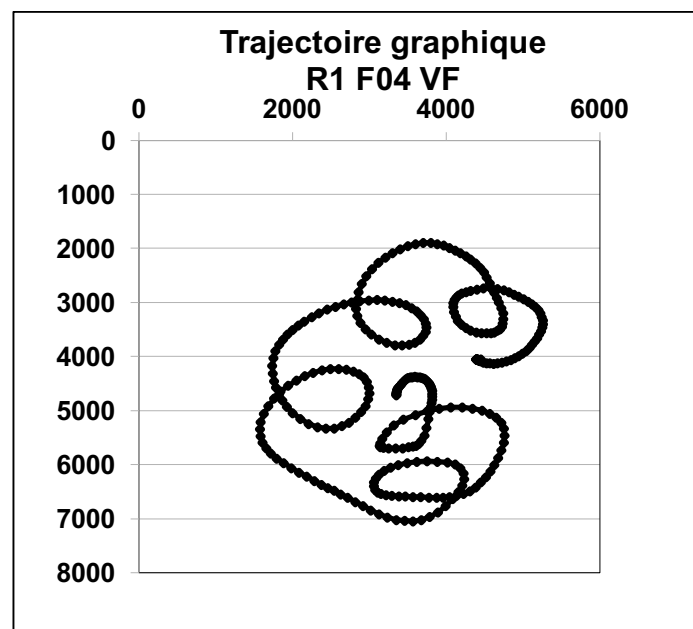


Figure 49: Trajectoire graphique numérisée effectuée sur le rythme 1 « Trot » par l'enfant F04VF

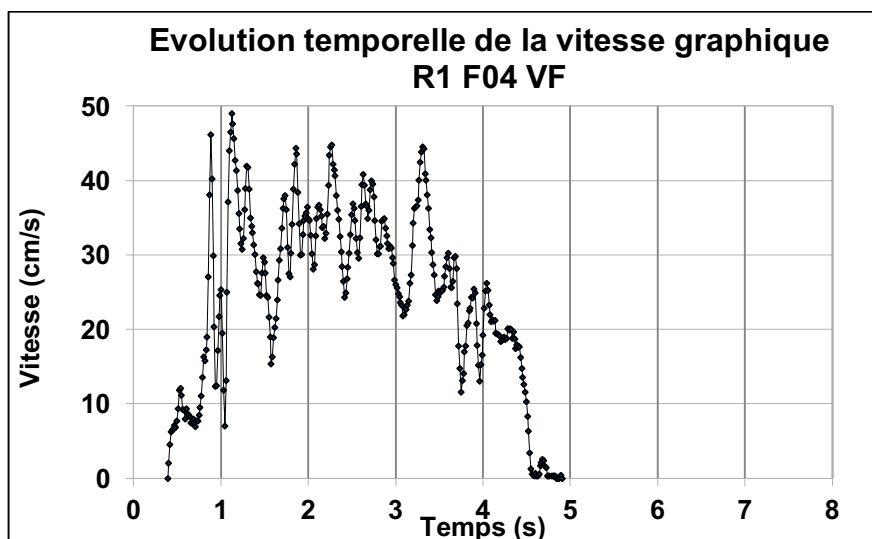


Figure 50: Graphique d'évolution de la vitesse du traçage effectué sur le rythme 1 par l'enfant F04VF

4.3.2.5 Corrélation entre courbes d'évolution temporelle d'intensité perçue et de vitesse graphique

En vue d'analyser l'appariement du mouvement graphique et du rythme, une seconde méthode permet de comparer les deux formes dynamiques rythme et graphisme par le calcul de la corrélation de la courbe de l'intensité du rythme et de la courbe de la vitesse du graphisme. Parmi les propriétés du rythme qui peuvent être appariées au mouvement graphique de l'auditeur, on s'intéresse ici en priorité à l'intensité car son évolution temporelle est liée à l'instant des frappes. L'évolution de l'intensité d'un pattern rythmique contiendrait une information de vitesse convertie par l'auditeur en un mouvement graphique de vitesse correspondante.

Le calcul de corrélation entre les courbes d'évolution temporelle d'intensité perçue (*loudness*) du rythme et les courbes de vitesse de traçage est effectué avec le logiciel mathématique *Matlab*⁶⁵. On obtient 430 graphes⁶⁶ de la corrélation du vecteur de vitesse et de la vitesse graphique. Les données sont analysées après filtrage par un passe-haut⁶⁷. Ceci modifie fortement les taux de corrélation, comme l'indique l'exemple suivant, avec un taux

⁶⁵ L. Feugère, membre du Groupe de Recherche en Audio et Acoustique du LIMSI (Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les Sciences de l'Ingénieur), a utilisé le logiciel Matlab pour effectuer le calcul de taux de corrélation entre les courbes, calcul qui a nécessité au préalable diverses opérations (importation, mise en forme et traitement des données sonores et de vitesse) (Cf. Annexe III : Liste des tâches liées au calcul sur le logiciel Matlab de la corrélation de l'intensité du pattern rythmique et de la vitesse du graphisme).

⁶⁶ Nombre de productions graphiques analysables sur les 792 productions graphiques totales, c'est-à-dire dont on a pu enregistrer des coordonnées (x,y) du stylo dans le temps et donc effectuer un calcul de vitesse correct.

⁶⁷ Les basses fréquences sont filtrées en vue d'atténuer des effets parasites.

maximum de corrélation vitesse-intensité d'une valeur de 0.8 suivant des données non filtrées et un taux de 0.45 avec les données filtrées passe-haut :

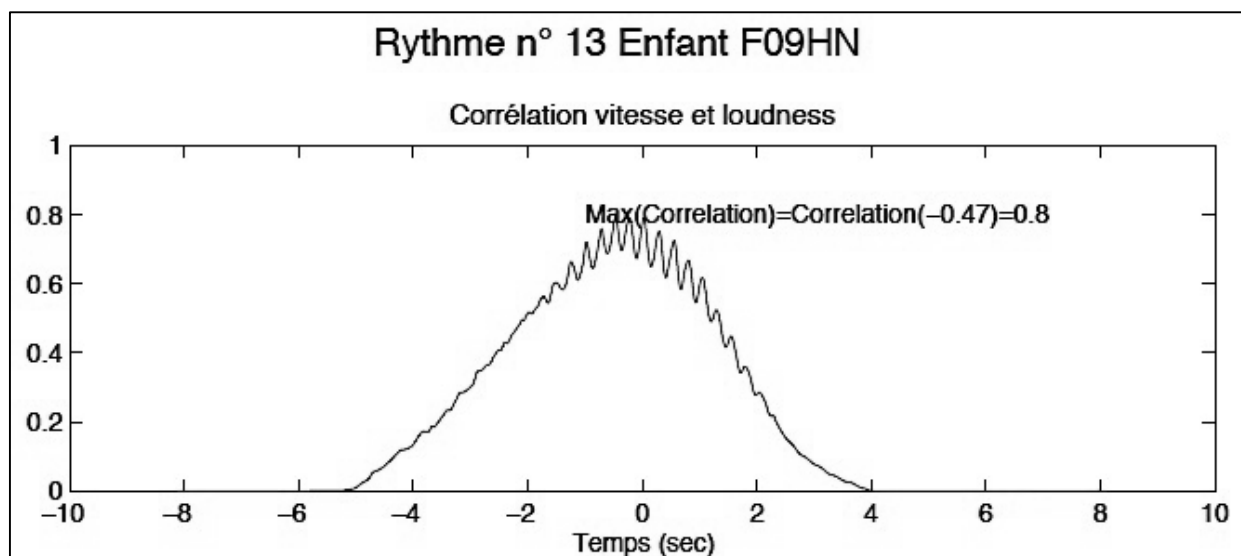


Figure 51: Graphe de corrélation vitesse et intensité, sans filtre, enfant F09HN et rythme 13 *Crescendo*

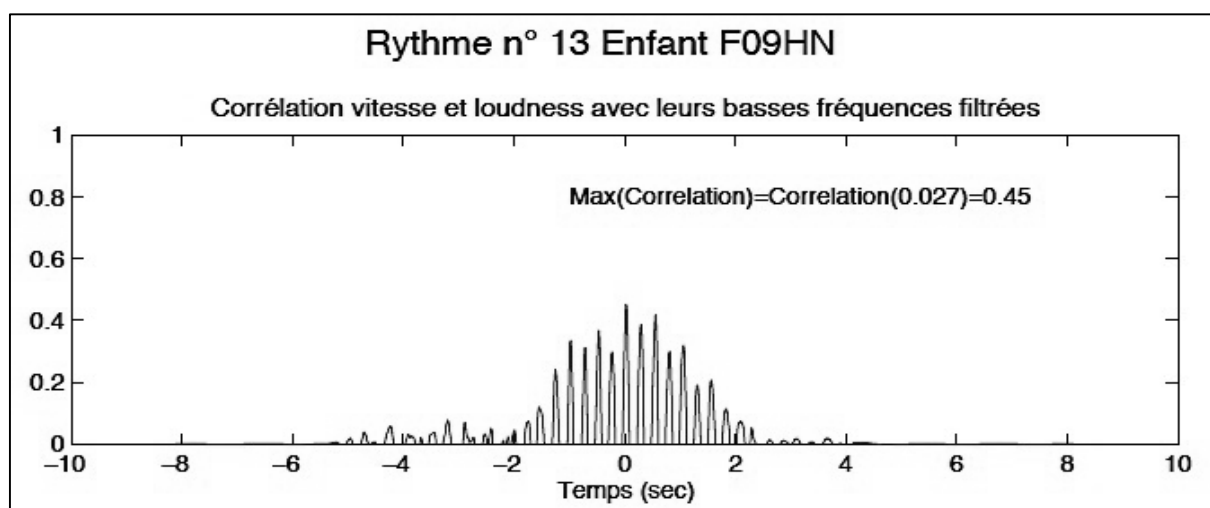


Figure 52: Graphe de corrélation vitesse et intensité, avec filtre passe-haut, enfant F09HN et rythme 13 *Crescendo*

On a également calculé la valeur maximale de corrélation de la vitesse graphique avec l'intensité à l'instant des frappes (*loudness d'onset*) (Cf. Annexe IV : Valeur maximale de corrélation entre la vitesse graphique et l'intensité à l'instant des frappes (*loudness d'onset*), selon les seuils de 0.1, 0.2, 0.3 et 0.4). L'on constate que les taux de corrélation avec la vitesse sont nettement plus faibles dans le cas de l'intensité à l'instant des frappes comparé à l'intensité perçue, sans doute du fait que la courbe d'intensité à l'instant des frappes présente des pics sur un seul point et des valeurs intermédiaires nulles. Les taux de corrélation s'en trouvent diminués à tel point qu'on ne pourra analyser ces résultats ici. A titre d'exemple, les

deux graphes suivants, comparés aux deux graphes précédents, indiquent la baisse du taux de corrélation dans le cas de l'intensité à l'instant des frappes *loudness d'onsets*, comparé à la *loudness*. Comparés entre eux, ils confirment la baisse de corrélation lorsque les données audio sont filtrées passe-haut :

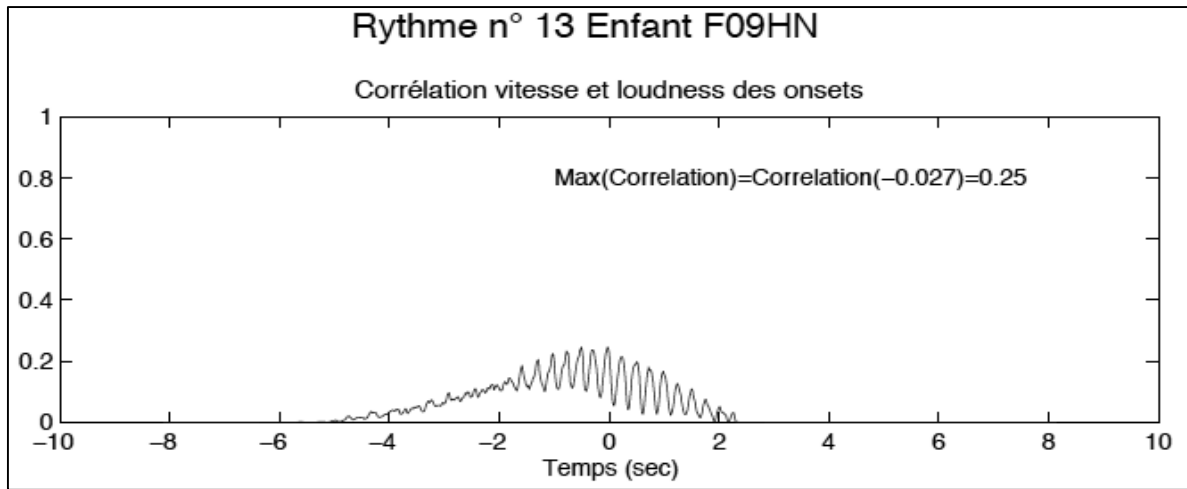


Figure 53: Graphe de corrélation vitesse et intensité à l'instant des frappes, avec filtre passe-haut, enfant F09HN et rythme 13 *Crescendo*

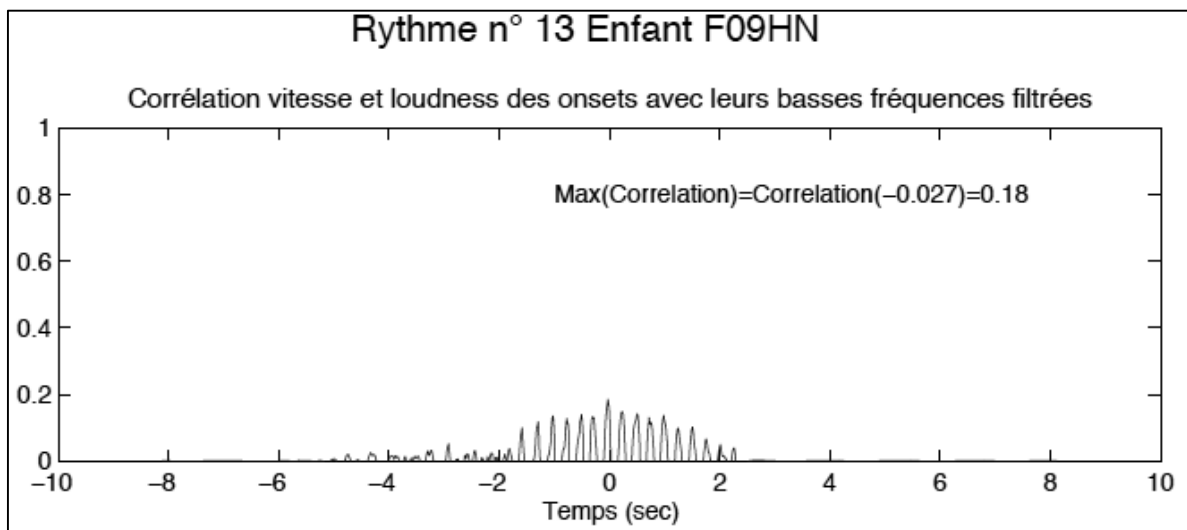


Figure 54: Graphe de corrélation vitesse et intensité à l'instant des frappes, avec filtre passe-haut, enfant F09HN et rythme 13 *Crescendo*

On constate que les taux de corrélation sont effectivement beaucoup plus bas, d'autant plus dans le cas de filtrage passe-haut des données.

Finalement, on calcule les corrélations maximales entre vitesse graphique et intensité perçue suivant des données filtrées passe-haut, le filtrage permettant d'atténuer les effets parasites. Les résultats sont analysés avec deux outils.

D'une part, on produit des statistiques afin d'analyser les corrélations de la vitesse avec l'intensité en fonction des rythmes (Cf. Annexe V : Liste des productions graphiques selon le seuil de corrélation vitesse-intensité). D'autre part, les résultats sont codés dans la base de données Excel en vue d'une analyse intersubjective de la corrélation établie entre intensité du rythme et vitesse du graphisme :

Codage	Seuil de taux de corrélation maximale vitesse-intensité	Production
A	0.2 < taux de corrélation maximale < 0.25	R1F06LZ
B	0.25 < taux < 0.3	R1F04CHT
C	0.3 < taux < 0.35	R1F09KP
D	0.35 < taux < 0.4	R1F02AP
E	taux > 0.4	R1F03CC

Tableau 57: Catégories de codage de productions par seuil de valeur maximale de corrélation entre vitesse graphique et intensité perçue dans la base de données Excel

Cet essai de comparaison par le calcul de deux séries temporelles, intensité perçue dans un rythme et vitesse du traçage, comporte d'importantes limites liées à la différence de nature physique des deux objets, son et graphisme, d'une part, et à l'écart entre la réalité des objets et leur caractérisation : le rythme musical est réduit à des données numériques d'évolution temporelle de propriétés d'intensité ; le mouvement graphique est ramené au traçage lui-même abstrait par des données sur l'évolution temporelle de la vitesse de la pointe du stylo. Toutefois, ces propriétés ont été sélectionnées pour leur capacité à caractériser chacun des deux objets sous l'angle de sa dynamique. Ces limites incitent à la prudence quant à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus avec cet outil de calcul, résultats qui seront mis en regard de ceux obtenus suivant la méthode audiovisuelle d'analyse de données.

Les résultats du traitement des données par ces deux méthodes permettent l'analyse de l'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques à laquelle est consacré le troisième livre de la thèse.

LIVRE 3 : ANALYSE DE L'APPARIEMENT DE FORMES DYNAMIQUES RYTHMIQUES ET GRAPHIQUES

Dans l'objectif de chercher si les mouvements graphiques sont liés à l'information de *mouvement* portée par les propriétés d'intensité et de durées du rythme, on analyse l'appariement des deux formes dynamiques, le rythme et le graphisme, en comparant l'évolution de ces deux propriétés rythmiques avec celle de la forme et de la vitesse du traçage graphique. Deux types d'analyse sont effectués à partir des données issues de la totalité des productions graphiques des 33 enfants de cinq ans effectuées durant l'écoute des 24 brefs patterns rythmiques percussifs.

Un premier type d'analyse porte sur l'étude du matériau rythmique et de ses effets sur les formes dynamiques graphiques. L'étude générale de la forme et de la dynamique des graphismes effectuée dans le chapitre cinq vise à déterminer si les aspects formels et dynamiques du graphisme sont un critère pertinent de différenciation des éléments rythmiques pour les auditeurs de cinq ans. Le chapitre six est consacré à la vérification des hypothèses opérationnelles par la recherche de régularités des propriétés graphiques à partir de propriétés rythmiques dynamiques et agogiques.

Un second type d'analyse de l'appariement du rythme et du graphisme s'appuie sur l'étude de trois phénomènes, l'induction motrice, la synchronisation audio-motrice et la transduction. Le chapitre sept permettra de préciser respectivement les propriétés rythmiques qui semblent les plus inductrices de mouvement graphiques et celles sur lesquelles s'appuie la synchronisation graphique. Dans le chapitre huit, une ultime hypothèse est mise à l'épreuve avec l'analyse des résultats d'un test de transduction de vitesse : on cherche dans quelle mesure un pattern rythmique sonore créé suivant un mouvement graphique originel permet, par l'information de vitesse contenue dans le déroulement de son intensité et de ses durées, de transférer à l'auditeur des informations de vitesse du mouvement graphique initial.

L'analyse interindividuelle et intraindividuelle des réactions graphiques liées à l'écoute des rythmes est intégrée à ces chapitres. La variabilité des productions graphiques est analysée selon le genre et l'âge des sujets et l'on présentera quelques cas de comportements atypiques.

Sur le plan de la méthode, les résultats analysés proviennent de l'analyse audiovisuelle des traçages effectués par les enfants de cinq ans à l'écoute de patterns rythmiques. Les résultats issus de la méthode de calcul des taux de corrélation entre courbes d'intensité du rythme et courbes de vitesses graphiques sont analysés à trois reprises, en complément de cette étude de l'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques.

5 Analyse générale des formes dynamiques graphiques

Les représentations graphiques produites sont toutes de mode *enactif*, quels que soient les rythmes et les sujets. On ne recense aucune représentation iconique ou symbolique des rythmes alors que la représentation par le dessin est généralement usitée chez l'enfant de cinq ans et qu'en outre, il accède aux outils de représentation par des signes ou des symboles. Si les représentations sont uniformément *enactives*, on constate qu'elles sont différenciées en termes de forme et de vitesse de mouvement graphique suivant les rythmes. Il existe donc des régularités graphiques suivant des propriétés rythmiques.

5.1 Formes graphiques

L'analyse vise à déterminer si la forme du graphisme est un critère pertinent de différenciation des éléments rythmiques pour ces enfants de cinq ans. En premier lieu, on établit un répertoire graphique exhaustif des tracés issus des 772 productions¹. Puis l'on analyse précisément des propriétés formelles appariées à des propriétés rythmiques, la variété des formes graphiques, leur taille, le traitement de l'espace, la continuité du traçage et la jonction du graphisme.

5.1.1 Répertoire graphique

L'observation de l'ensemble des productions enfantines aboutit à la constitution d'un répertoire graphique dont les formes sont relativement diversifiées mais très inégalement représentées :

¹ 20 traçages sont défectueux et ne sont donc pas évaluables.

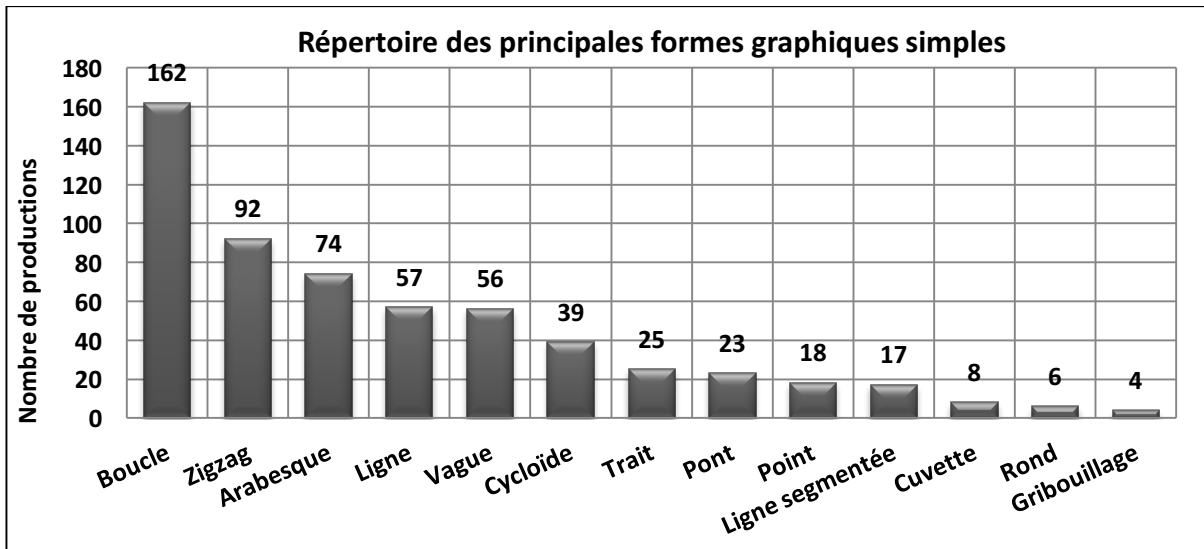
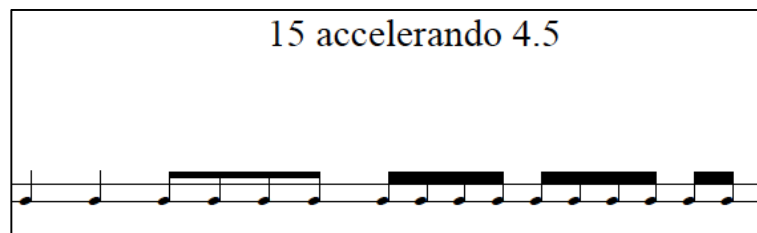
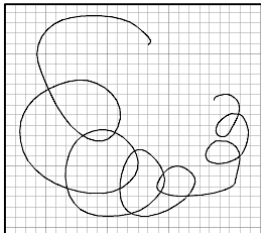


Figure 55: Répertoire des principales formes graphiques simples

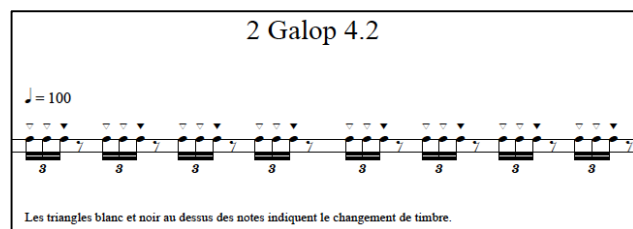
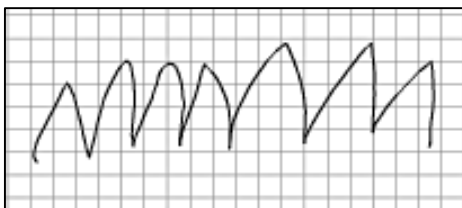
Les exemples² ci-dessous illustrent les types de graphismes dans l'ordre décroissant de fréquence dans le corpus :

20% Boucles R15F04VF



Exemple musical 27: Rythme15 « *Accelerando* »

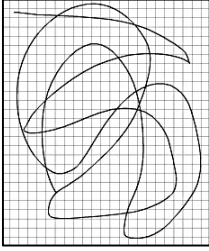
12% Zigzags R2F09KP



Exemple musical 28: Rythme 2 « *Galop* »

² Feuilles scannées des cahiers A4 archivés.

9% Arabesque R4G09VL

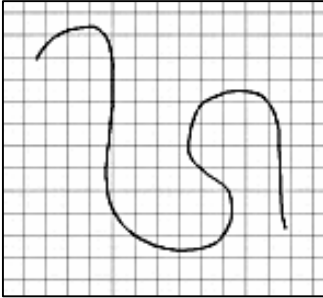


4 Sept sauts 4.2

$\downarrow = 80$

Exemple musical 29: Rythme 4 « Sept sauts »

7% Ligne R1F06LZ



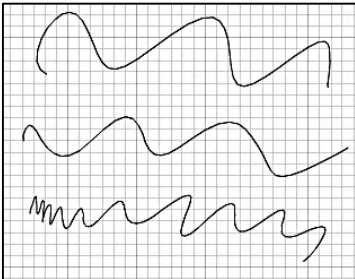
1 Trot 3.6

Habib Yammine

Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 30: Rythme 1 « Trot »

7% Vagues R11F03CC

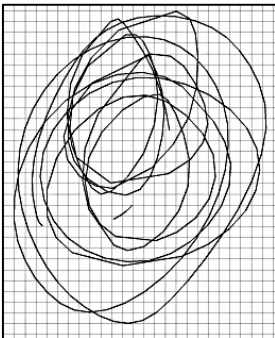


11 Graphisme 3 Arche 3.7

$\downarrow = 85$

Exemple musical 31: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

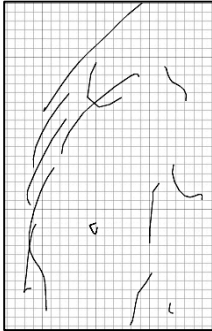
5% Cycloïde R15F04BD



15 accelerando 4.5

Exemple musical 32: Rythme 15 « Accelerando »

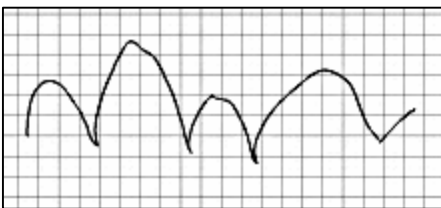
3% Traits R15G01RI



15 accelerando 4.5

Exemple musical 33: Rythme 15 « Accelerando »

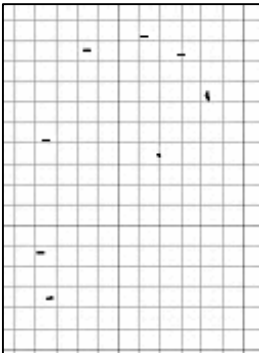
3% Ponts R9G01AL



9 Graphisme 1 Pointe 3.8

Exemple musical 34: Rythme 9 Graphisme Pointe »

2% Points R3F03CC



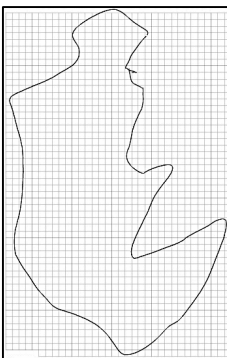
3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 35: Rythme 3 « Grand galop »

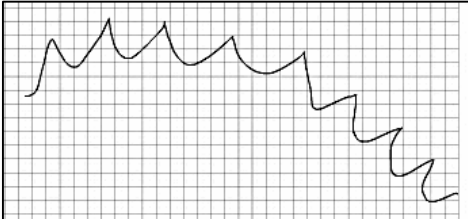
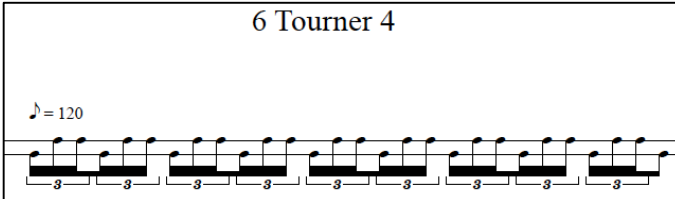
2% Ligne segmentée R24G12JFC



24 Deux tempi 70 - 140 bpm (Ayyûb) 7

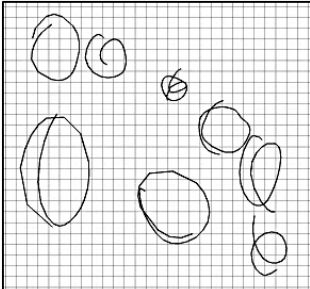
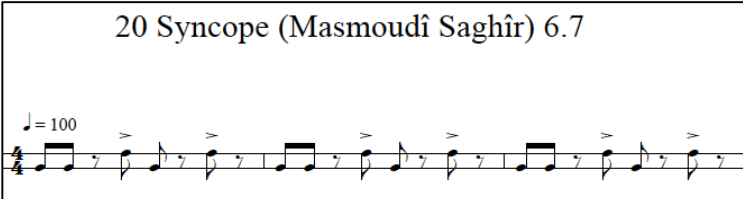
Exemple musical 36: Rythme 24 « Deux tempi 70-140 »

1% Cuvette R6F09HN

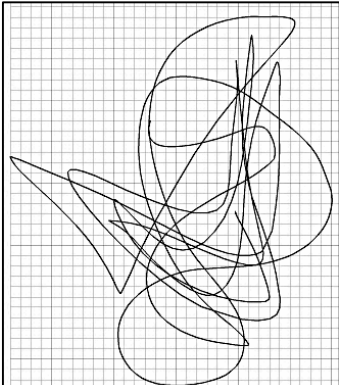
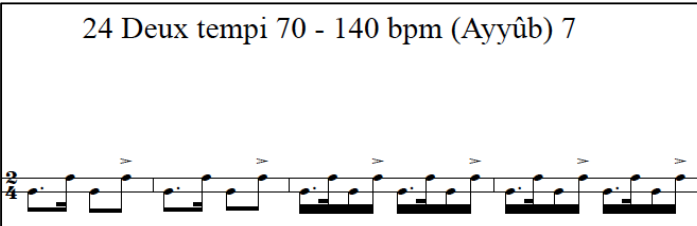
Exemple musical 37: Rythme 6 « Tourner »

8 productions Ronds R20F09KP

Exemple musical 38: Rythme 20 « Syncope »

4 productions Gribouillage R24F11MF

Exemple musical 39: Rythme 24 « Deux tempi 70-140 bpm »

Le motif graphique en forme de boucles est très largement représenté, contrairement aux traits, points et ronds. On note également qu'aucun usage n'est fait ni de dessins figuratifs, ni de signes ou de symboles (notes de musique, figures géométriques, lettres, chiffres, *etc.*). On différencie le gribouillage, quasi inexistant, de l'arabesque, le premier étant produit avec un contrôle visuo-moteur restreint, la seconde étant guidée par l'œil de l'enfant.

On enregistre peu d'imitation par l'enfant du geste de production du son percussif, avec des frappes du stylo sur la feuille qui seraient transcrites par des points ou des traits. Ceci peut être lié au fait que, dans la culture scolaire de l'enfant, le stylo et le cahier correspondent à une activité de graphisme et d'écriture qui requiert plus de mouvements horizontaux de

frottement et de glissement que de mouvements verticaux de frappe du stylo sur la feuille. Il est probable que l'aspect précieux du stylo, avec un écran à cristaux liquides LCD sur le côté, et son ergonomie (diamètre et poids supérieurs à un stylo à bille classique), aient induit des mouvements graphiques horizontaux sur la feuille plus que des mouvements verticaux de frappe, lesquels comportent par ailleurs le risque d'endommager la pointe du stylo.

On n'observe pas d'effet du quadrillage³ de la feuille A4 sur les formes graphiques : aucun tracé géométrique ou figuratif et aucun jeu graphique ne paraissent influencés par ces lignes que les enfants semblent ignorer.

- **Formes graphiques selon le genre et l'âge des sujets**

Le choix de formes graphiques semble peu dépendre du genre et de l'âge des sujets. On note toutefois que le tracé de boucles est légèrement plus fréquent chez les filles et les zigzags chez les garçons :

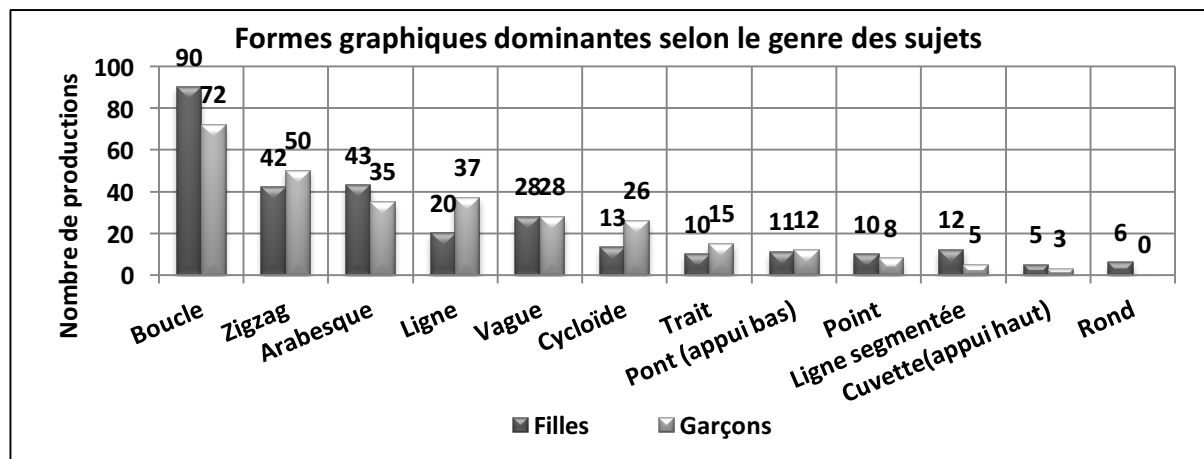


Figure 56: Formes graphiques dominantes selon le genre des sujets

³ Il est assez visible dans les scans ci-dessus mais en réalité, il est de teinte bleu pâle et plus discret.

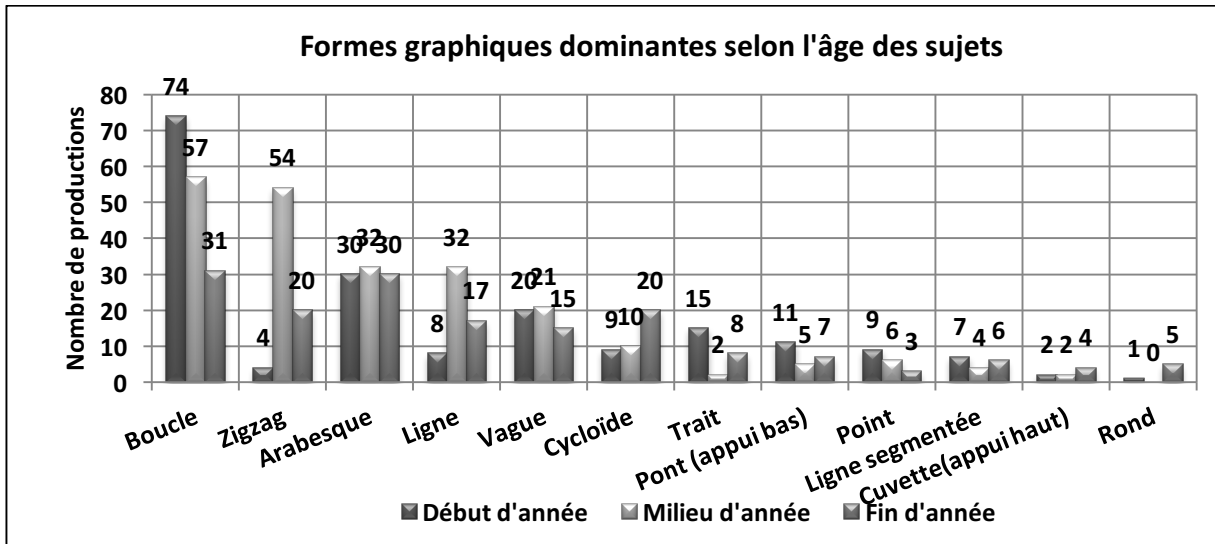


Figure 57: Formes graphiques dominantes selon l'âge des sujets

Les sujets plus âgés produisent plus de boucles graphiques et nettement moins de zigzags, comparés aux enfants plus jeunes, ce qui tient sans doute à une compétence graphique liée au développement grapho-moteur.

5.1.2 Familles de formes graphiques et évolution durant la production

5.1.2.1 Variété des formes graphiques

On distingue quatre familles principales de formes graphiques, selon les critères de périodicité, de continuité et de jonction, qui permettent d'indiquer des propriétés rythmiques perçues par l'enfant.

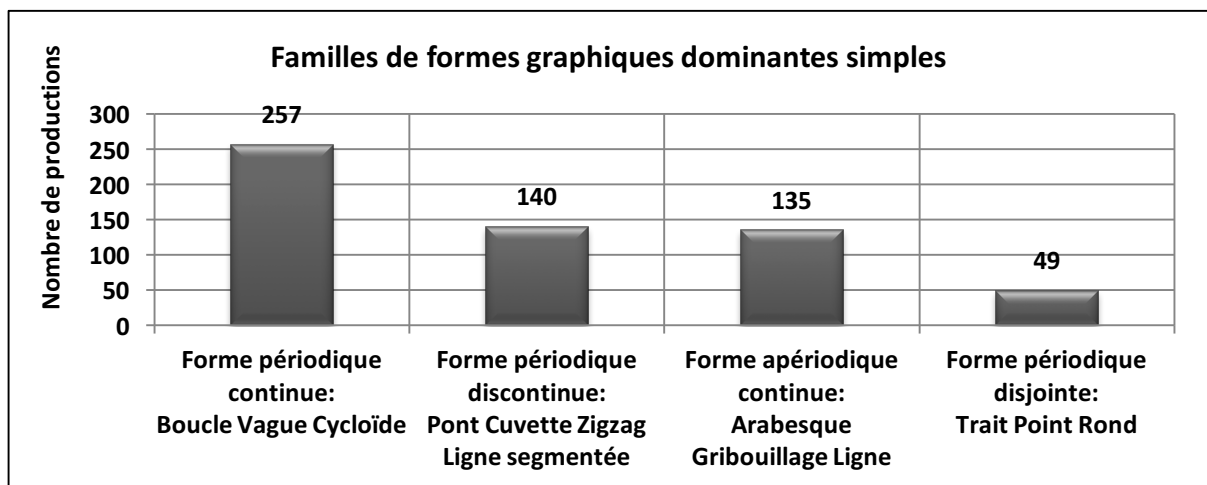


Figure 58: Familles de formes graphiques dominantes simples

Plus de la moitié des productions graphiques présentent une périodicité, une régularité de la forme contre près de 20% de productions apériodiques.

- **Familles de formes graphiques selon le genre et l'âge des sujets**

La production de ces familles de formes graphiques est indépendante du genre des sujets :

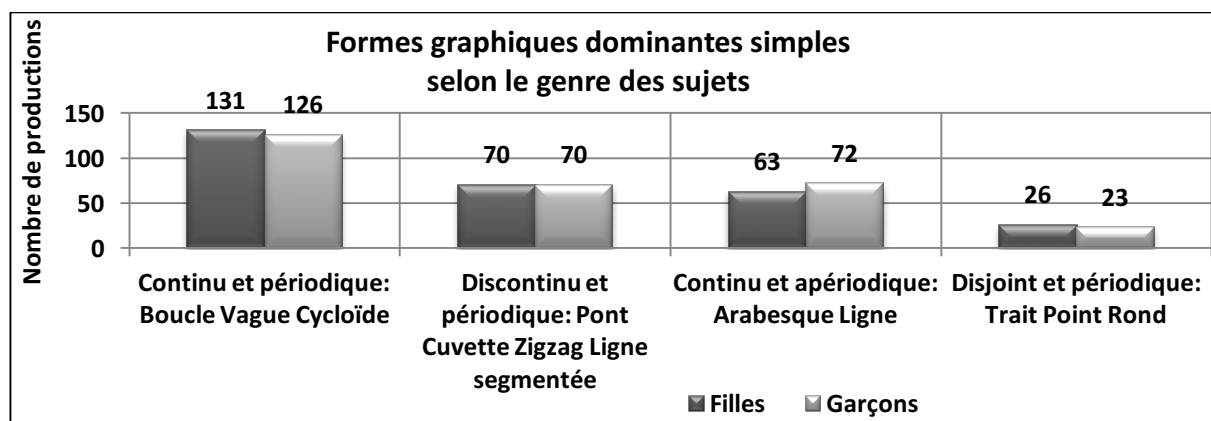


Figure 59: Formes graphiques dominantes simples selon le genre des sujets

En revanche, le choix de familles de formes semble dépendre de l'âge des sujets :

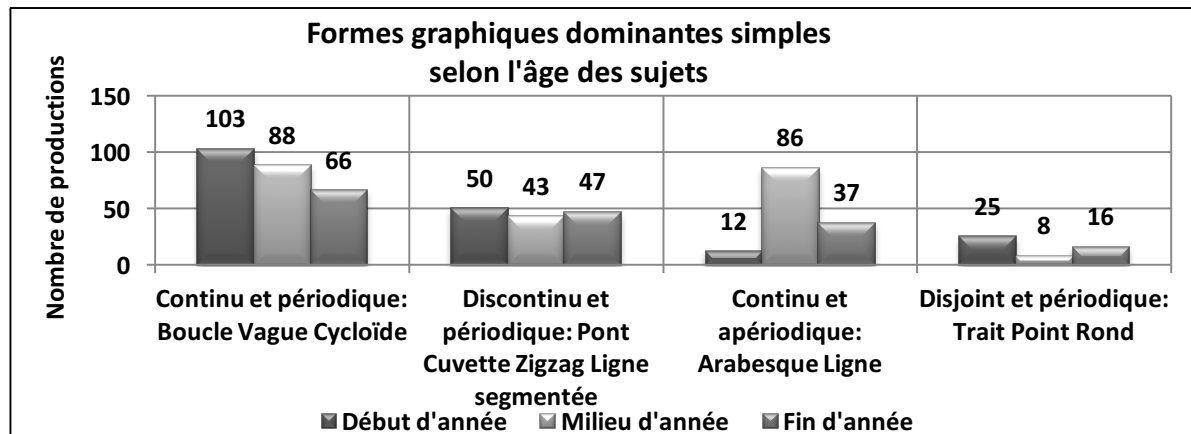


Figure 60: Formes graphiques dominantes simples selon l'âge des sujets

Les enfants les plus âgés tracent plus fréquemment des formes périodiques, montrant une plus grande aptitude à représenter la périodicité des rythmes, les motifs rythmiques. Les enfants de milieu et de fin d'année produisent plus de graphismes apériodiques et sont moins précis dans la représentation formelle d'éléments périodiques des rythmes.

- **Familles de formes graphiques selon les rythmes**

Quels sont les liens entre ces formes graphiques et les propriétés des rythmes ?

- Formes périodiques⁴

La production de formes graphiques périodiques décroît durant l'expérience. Toutefois, concernant les sous-familles de formes périodiques (continues, discontinues ou disjointes), le nombre de productions graphiques varie selon les rythmes. Cette propriété graphique semble donc dépendre de propriétés rythmiques.

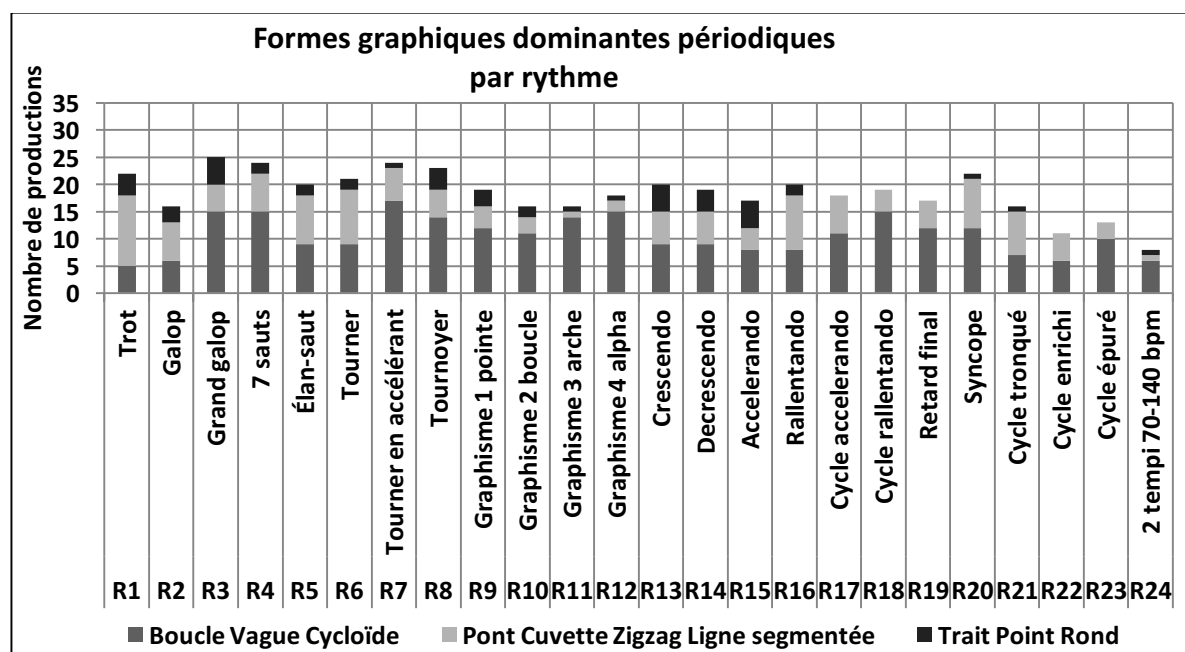


Figure 61: Formes graphiques dominantes périodiques par rythme

Le graphique présente les rythmes dans l'ordre de présentation durant la passation, l'audition et la représentation se succédant de R1 à R24. Les pourcentages ci-dessous sont établis sur le nombre de productions graphiques évaluables⁵ par rythmes.

Les rythmes les plus représentés par des formes périodiques sont les huit premiers dans l'ordre de la passation : R5 Élan-Saut, R7 Tourner en accélérant (80%) ; R1 Trot, R3 Grand galop, R4 7 sauts, R8 Tournoyer. Le rythme R20 Syncope (75%) est également très représenté par des motifs graphiques périodiques, indiquant que les enfants sont plus sensibles à l'aspect périodique de l'ensemble de la structure rythmique qu'à la modification interne avec la frappe syncopée. Les rythmes les moins représentés par des formes périodiques sont les derniers écoutés par l'enfant : R22 Cycle enrichi, R23 Cycle épuré (35%) ; R24 Deux tempi (25%). En réalité, ces faibles taux s'expliquent par le fait que ces trois rythmes sont

⁴ Les données du graphique correspondent aux productions qui ne recourent qu'à une seule forme graphique.

⁵ Le nombre total de productions est de 33 par rythme, 33 enfants ayant participé à l'expérience. Quelques productions ne sont pas évaluables. Le nombre de productions analysées varie entre 30 et 33 par rythme (Cf. Annexe I : Tableaux des résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les 24 rythmes).

représentés par diverses formes graphiques successives durant une même production, qui ne sont pas comptabilisées dans les données de ce graphique.

- Formes périodiques *et* continues (boucle, vague, cycloïde)

Ces formes sont les plus représentées durant l'expérience. Elles ont des propriétés rythmiques de régularité et de périodicité motrices qui peuvent être liées aux mêmes propriétés rythmiques sonores.

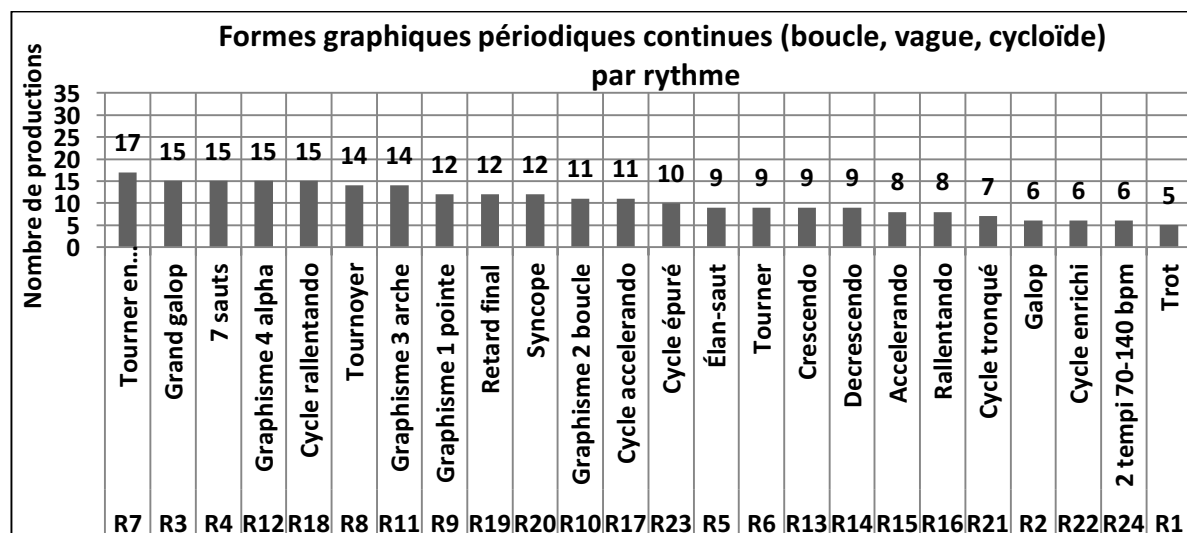


Figure 62: Formes graphiques périodiques continues par rythme

Les rythmes les plus représentés contiennent un motif rythmique accentué et une fréquence de frappes élevée : R7 Tourner en accélérant (55%), R3 Grand galop, R4 7 sauts, R8 Tournoyer, R11 Graphisme arche, R12 Graphisme alpha, R18 Cycle *rallentando* (45%). Les rythmes les moins représentés par des formes périodiques continues présentent de fortes irrégularités au cours de l'item : R21 Cycle tronqué, R22 Cycle enrichi, R24 Deux tempi, ou une basse fréquence de frappes : R1 Trot, R2 Galop. Les boucles, vagues et cycloïdes, formes régulières et continues, sont peu efficaces pour représenter ces propriétés rythmiques.

- Formes périodiques *et* discontinues (pont, cuvette, zigzag, ligne segmentée)

Ces formes contiennent dans le tracé des points d'arrêt suivis de changements de direction qui sont les signes d'une rupture dans le traçage. Mises en coïncidence avec le rythme, ces discontinuités graphiques peuvent indiquer la perception d'un silence, du début ou de la fin d'un motif, d'une pulsation.

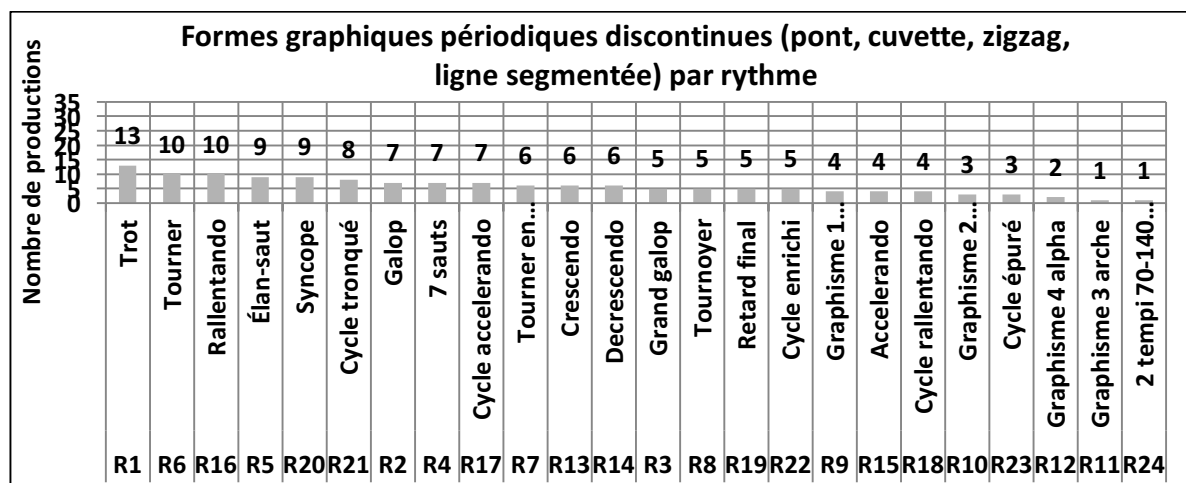


Figure 63: Formes graphiques périodiques discontinues par rythme

Les rythmes les plus représentés par ces formes périodiques discontinues ont des frappes bien nettes et séparées : R1 Trot (40%) ; R6 Tourner, R5 Elan-Saut, R16 *Rallentando*, R20 Syncope (35%). Les rythmes les moins représentés ont une fréquence de frappes élevée qui engendre un traçage continu : R12 Graphisme alpha (5%) ; R9 Graphisme pointe, R10 Graphisme boucle, R11 Graphisme arche R24 Deux tempi (10%). Dans les cas de R18 Cycle *rallentando* et R23 Cycle épuré, la fréquence de frappes initiale est élevée ; elle engendre un traçage périodique continu qui se poursuit jusqu'en fin d'item.

- Formes périodiques et disjointes (point, trait, rond)

Ces formes sont les moins représentées de toutes.

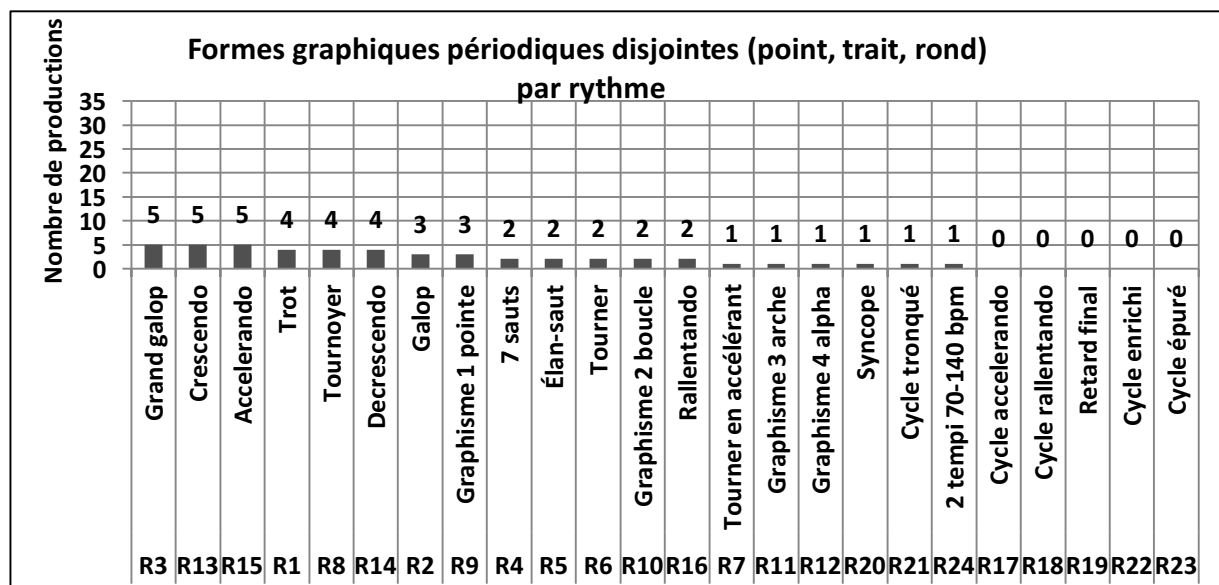


Figure 64: Formes graphiques périodiques disjointes par rythme

Ces formes périodiques disjointes correspondent aux frappes ou aux motifs nettement séparés dans les rythmes : R5 Elan-saut (20%) ; R3 Grand galop, R13 *Crescendo*, R15 *Accelerando* (15%). Les rythmes les moins représentés par des points, ronds ou traits ont une fréquence de frappes élevée ou une structure irrégulière : R17 Cycle *accelerando*, R18 Cycle *rallentando*, R19 Retard final, R22 Cycle enrichi, R23 Cycle épuré (0%) ; R20 Syncope, R21 Cycle tronqué, R11 Graphisme arche, R12 Graphisme alpha, R7 Tourner en accélérant (3%).

- Formes a périodiques jointes (arabesque, ligne)

Ces formes ne marquent pas d'interruption dans le traçage. Elles se répartissent librement dans l'espace graphique. La vitesse du mouvement est le principal élément qui évolue en fonction des rythmes.

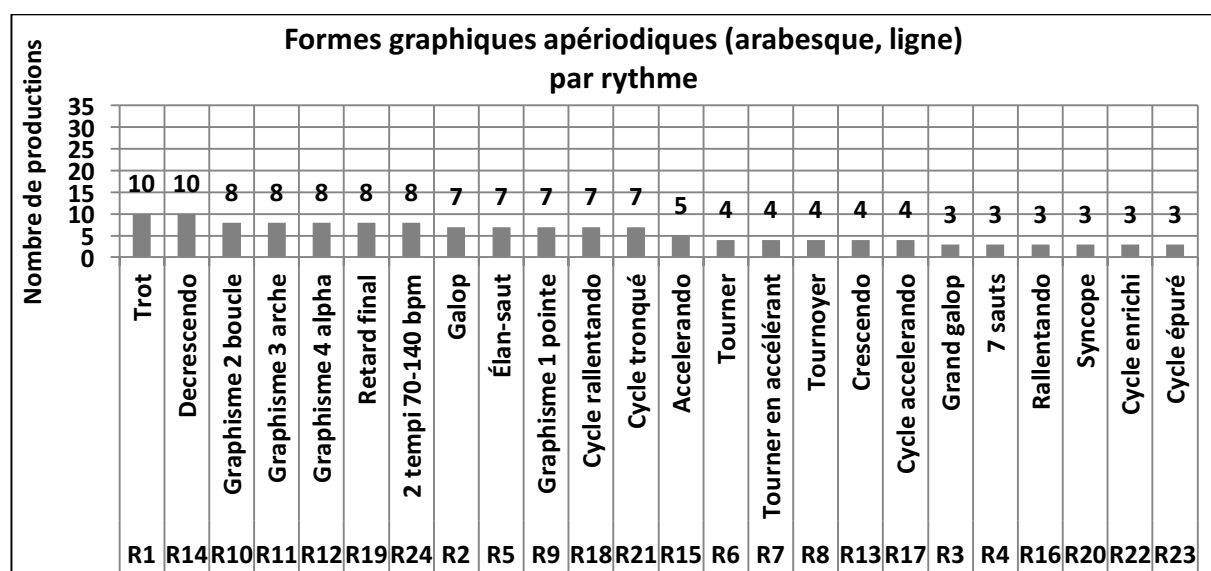


Figure 65: Formes graphiques a périodiques par rythme

Les rythmes les plus représentés par ces formes libres sont R1 Trot, R14 *Decrescendo* (30%). L'effet d'apprentissage de l'expérience a lieu durant le premier rythme. Les représentations graphiques sont plutôt linéaires ; elles suivent le rythme dans sa régularité d'ensemble sans indiquer l'instant des frappes. Quant au rythme R14 *Decrescendo*, la vitesse de traçage des arabesques et des lignes non segmentées décroît proportionnellement à la décroissance de l'intensité des frappes. D'autres rythmes avec une grande fréquence de frappes, R19 Retard final, R24 Deux tempi, et a périodiques, R10 Graphisme boucle, R11 Graphisme arche, R12 Graphisme alpha (25%), sont représentés par ces formes a périodiques.

5.1.2.2 Evolution des formes graphiques durant chaque production

La variété de formes successives durant la production nous renseigne sur l'adaptation du graphisme au rythme écouté.

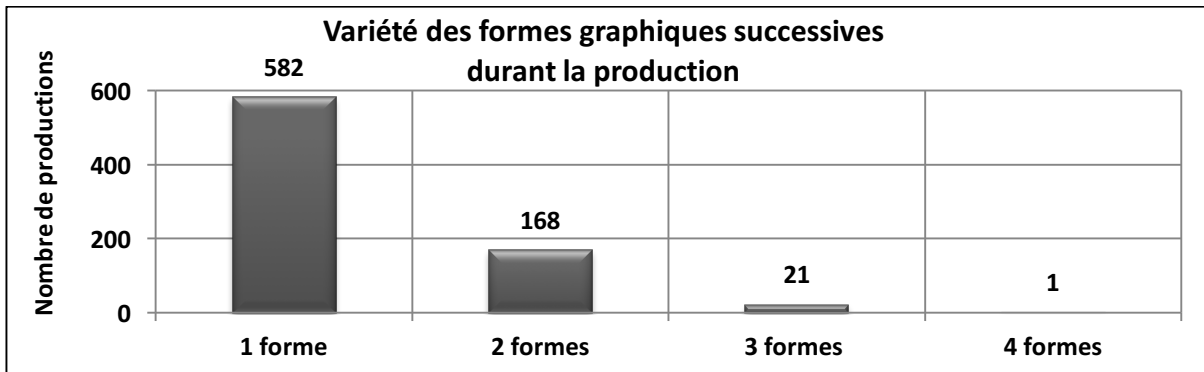
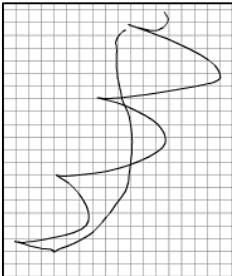


Figure 66: Variété des formes graphiques successives durant la production

Dans près de 75% des productions, les enfants recourent à une seule forme graphique durant le traçage, ce qui indique une stabilité graphique et une assez grande stabilité interindividuelle. Près de 25% des productions présentent des formes graphiques qui varient au cours de la production, avec deux ou trois formes successives, comme dans les cas suivants :

Deux formes R3F08AG



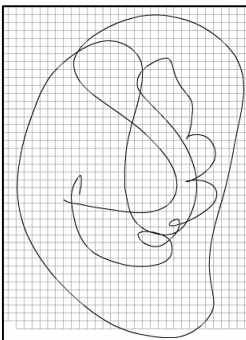
3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 40: Rythme 3 « Grand galop »

Trois formes R23F06LZ



23 Cycle épuré (Maqsûm) 6.7

Exemple musical 41: Rythme 23 « Cycle épuré »

Ces formes composées nous renseignent sur l'évolution du graphisme, avec une accélération (10%), une précision supérieure (10%) ou moindre (6%).

- **Variété des formes graphiques selon le genre et l'âge des sujets**

La variété des formes graphiques dans une production ne dépend ni du genre ni de l'âge des sujets :

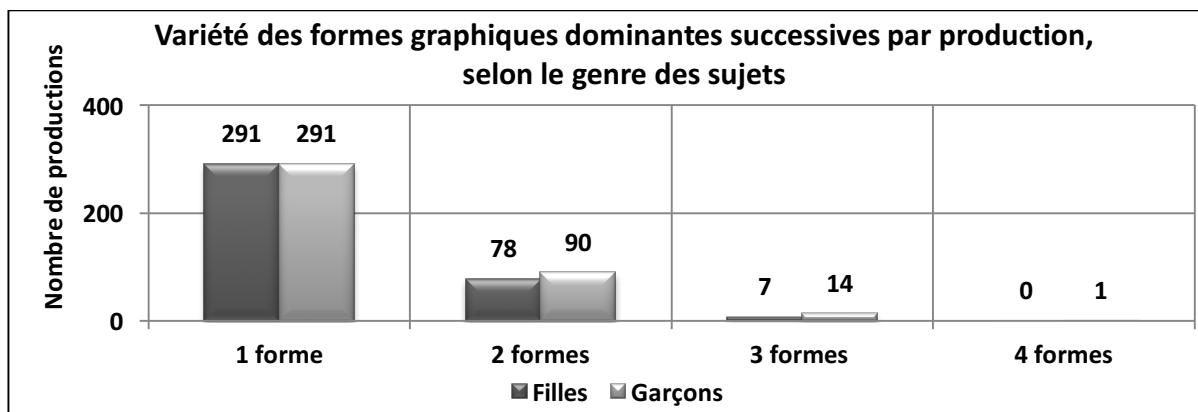


Figure 67: Variété des formes graphiques dominantes successives par production, selon le genre des sujets

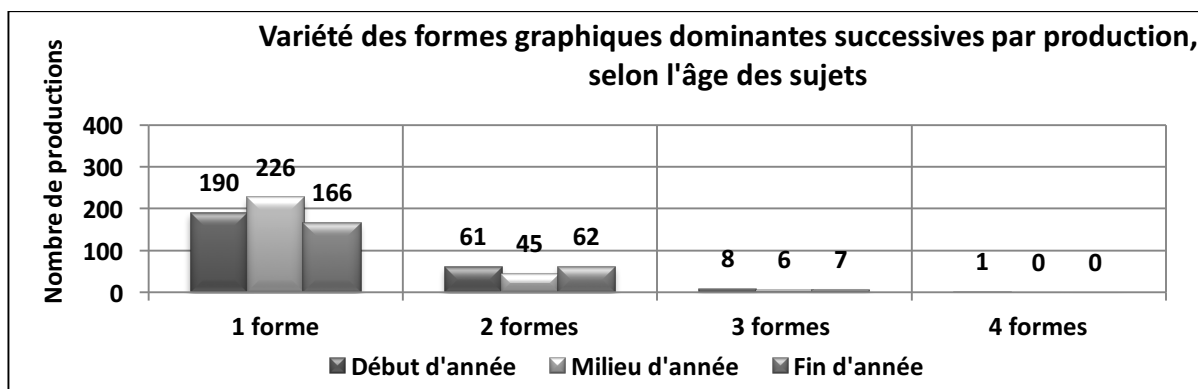


Figure 68: Variété des formes graphiques dominantes successives par production, selon l'âge des sujets

- **Variété des formes graphiques selon les rythmes**

Avec quelles propriétés rythmiques la variété graphique est-elle en lien ?

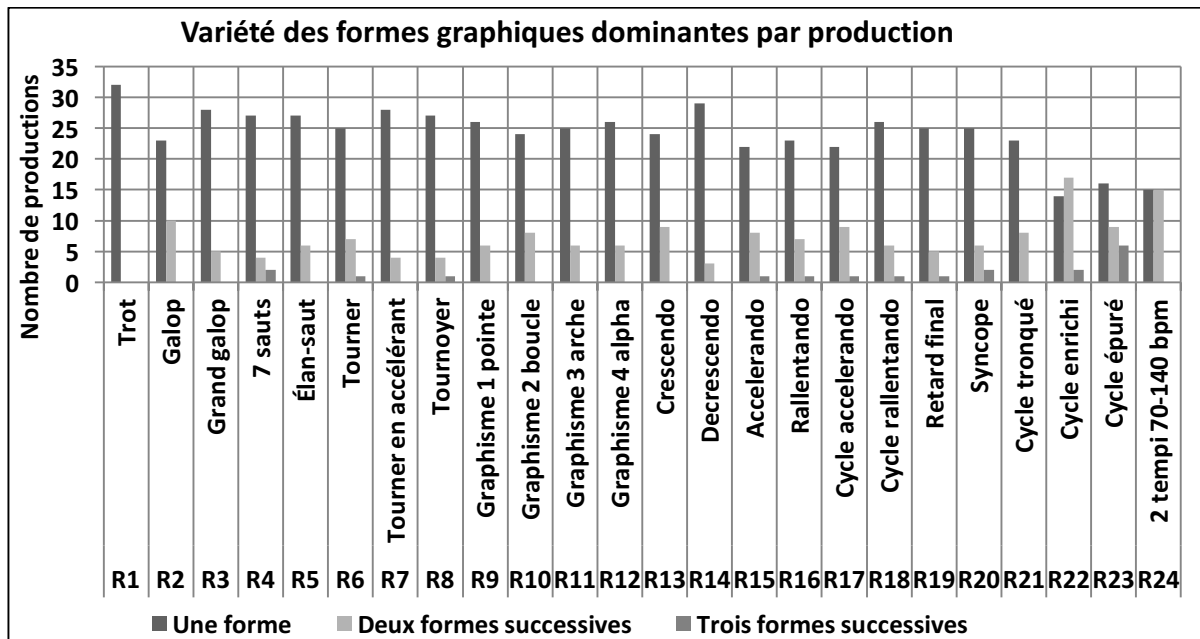


Figure 69: Variété des formes graphiques dominantes par production

Sur l'ensemble de l'expérience, on constate peu de variation de ce critère graphique : le nombre de forme unique durant la production est largement majoritaire. En fin d'expérience, les rythmes R22 Cycle enrichi, R23 Cycle épuré et R24 Deux tempi présentent plus de variations de formes graphiques qui semblent en lien avec leurs importantes modifications d'intensité et d'organisation des durées.

5.1.3 Taille du graphisme et évolution durant la production

5.1.3.1 Variété des tailles de graphisme

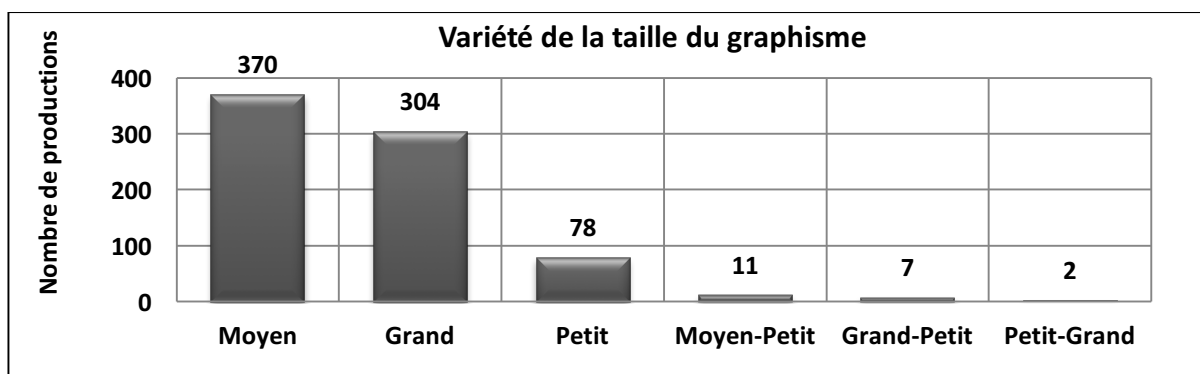
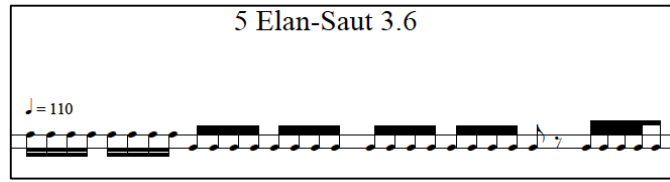


Figure 70: Variété de la taille du graphisme

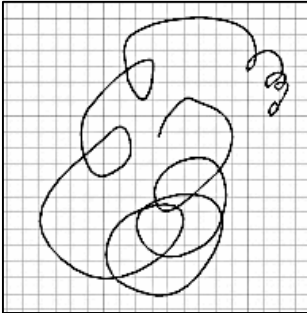
85% des productions sont d'une taille graphique importante, occupant plus d'un tiers de la feuille A4. Seules, 20 productions effectuées par 16 sujets recourent à deux tailles différentes, comme dans les cas suivants :

R5F02AP Elan-saut



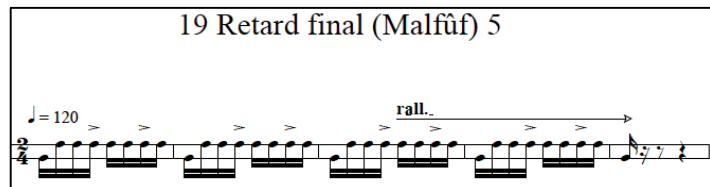
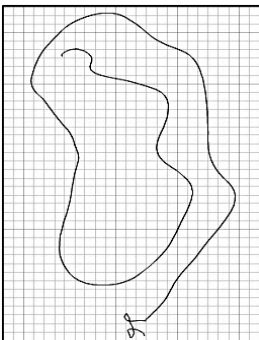
Exemple musical 42: Rythme 5 « Elan-Saut »

R18F04VF Cycle *rallentando*



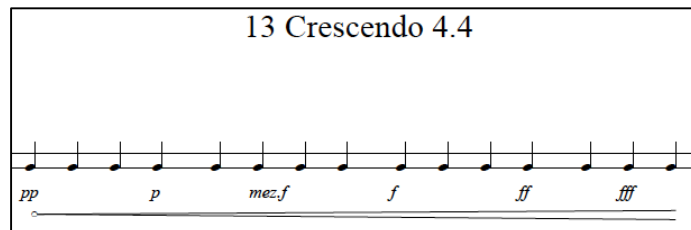
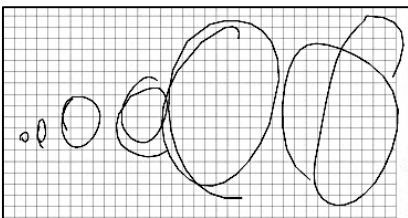
Exemple musical 43: Rythme 18 « Cycle *rallentando* »

R19G11KG Retard final



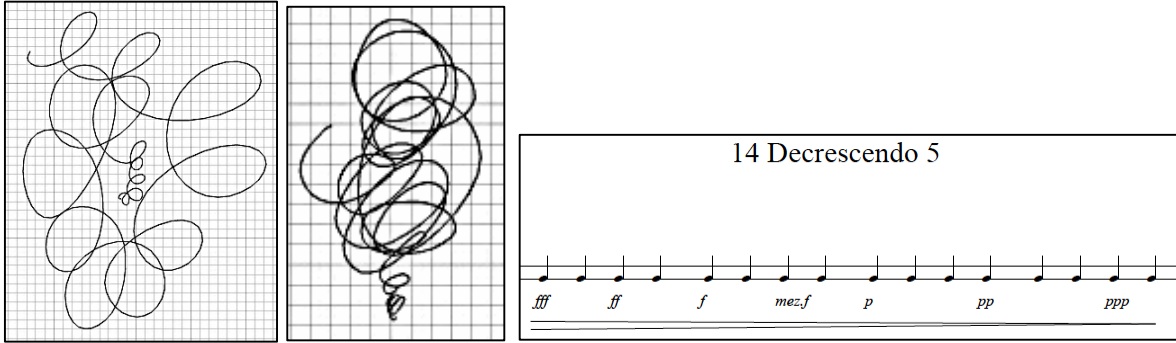
Exemple musical 44: Rythme 19 « Retard final »

R13F09KP *Crescendo*



Exemple musical 45: Rythme 13 « *Crescendo* »

R14F03CC *Decrescendo* R14F05CH *Decrescendo*



Exemple musical 46: Rythme 14 « *Decrescendo* »

- Taille du graphisme selon le genre et l'âge des sujets

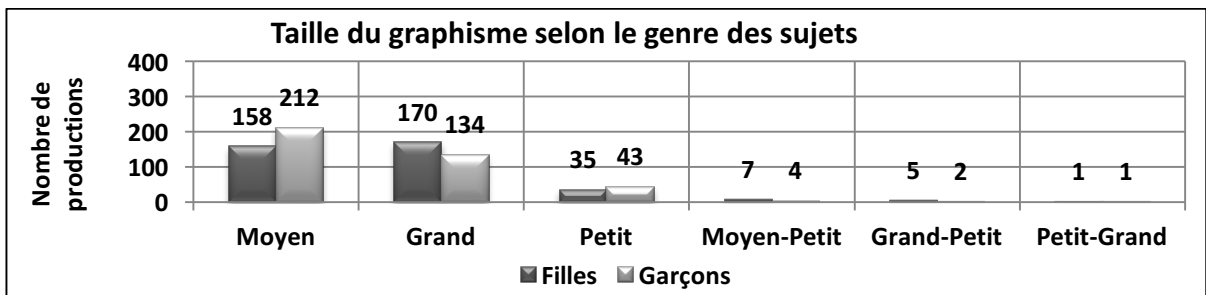


Figure 71: Taille du graphisme selon le genre des sujets

Les filles ont tendance à produire des graphismes de grande taille, les garçons traçant plus de graphismes de taille moyenne. Elles modifient la taille de leurs graphismes en cours de production.

Un peu plus d'enfants plus âgés recourent au changement de taille de graphisme durant le traçage. Ils ont des tracés de taille moindre que les plus jeunes.

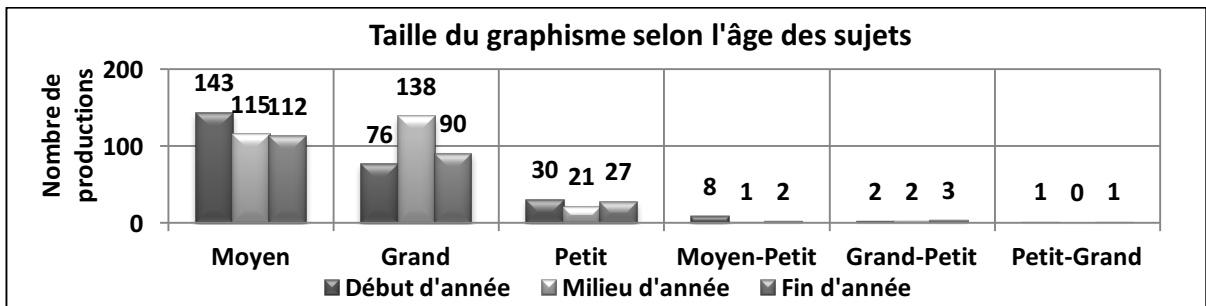


Figure 72: Taille du graphisme selon l'âge des sujets

- Taille du graphisme selon les rythmes

Ce critère évolue peu durant l'expérience : les graphismes sont de taille moyenne ou grande :

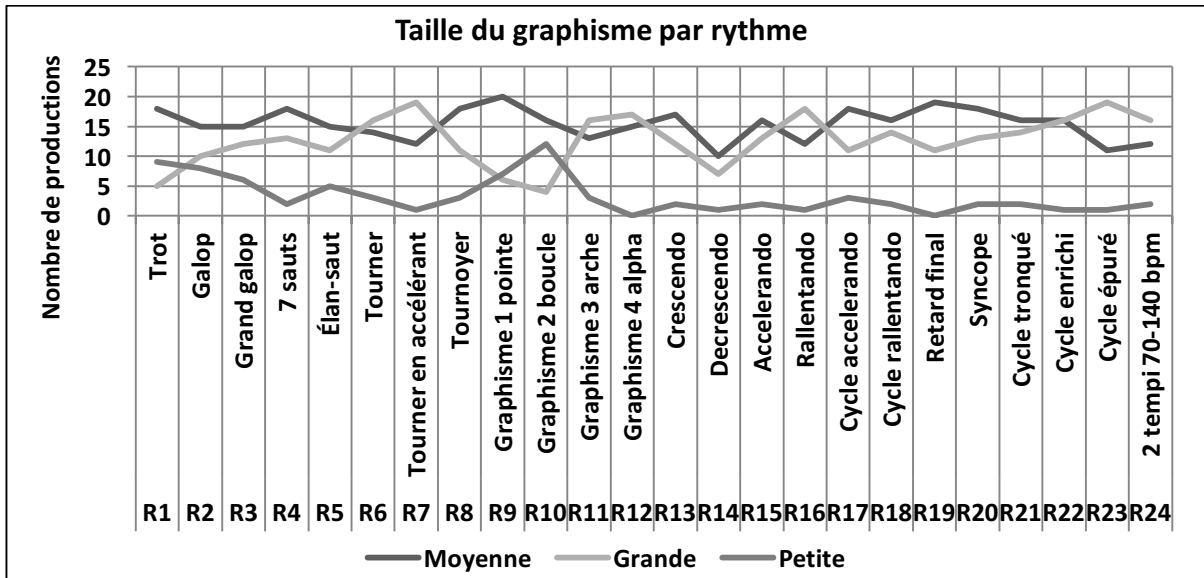


Figure 73: Taille du graphisme par rythme

Les rythmes dont la fréquence de frappes varie fortement sont plutôt représentés par des graphismes de grande taille :

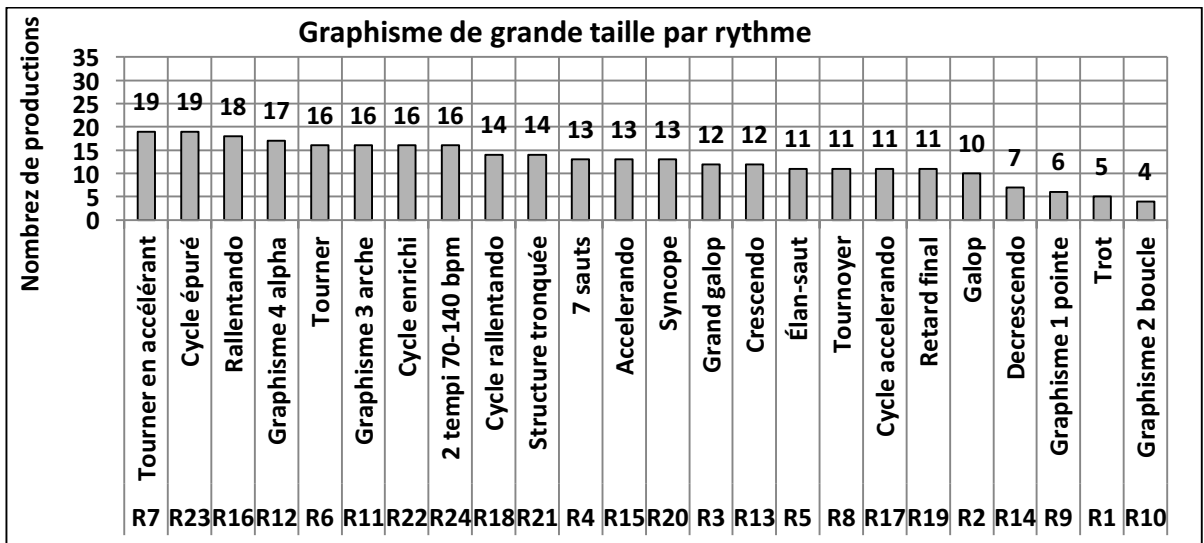


Figure 74: Graphisme de grande taille, par rythme

5.1.3.2 Evolution de la taille du graphisme durant la production

Les enfants maîtrisent la taille de leur graphisme : la régularité est majoritairement observée dans 60% des productions.

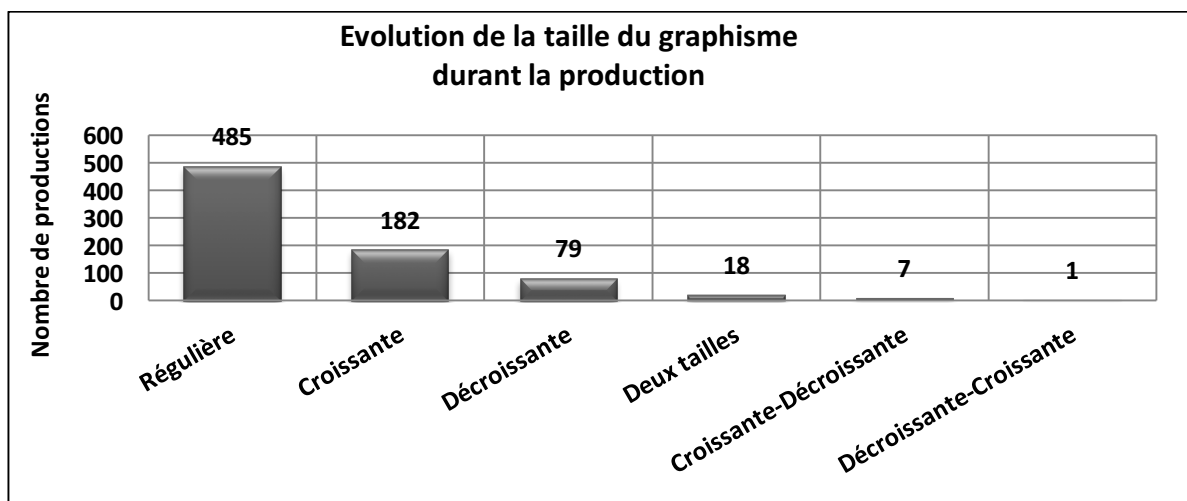
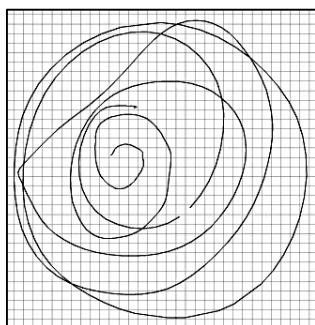


Figure 75: Evolution de la taille du graphisme durant la production

La taille est un critère de différenciation graphique dans 35% des productions. Elle croît ou décroît comme dans les productions suivantes :

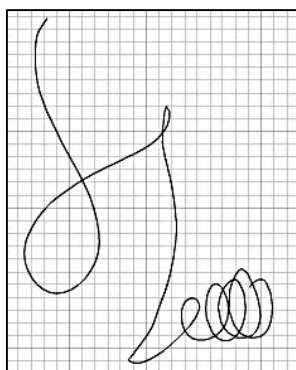
23% Taille croissante R17F04BD



17 Cycle accelerando (Gubbâhî) 4.8

Exemple musical 47: Rythme 17 « Cycle *accelerando* »

10% Taille décroissante R4F10SR



4 Sept sauts 4.2

Exemple musical 48: Rythme 4 « Sept sauts »

- Evolution de la taille du graphisme selon le genre et l'âge des sujets

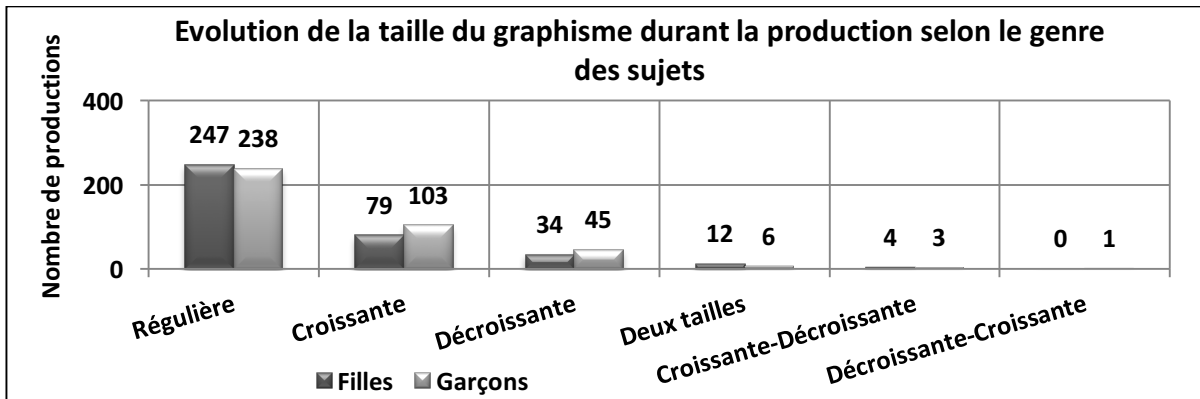


Figure 76: Evolution de la taille du graphisme durant la production selon le genre des sujets

Les garçons recourent un peu plus souvent à un changement progressif de taille du graphisme pour faire part d'une évolution du rythme (56%).

Le critère d'évolution de la taille graphique ne dépend pas de l'âge des sujets :

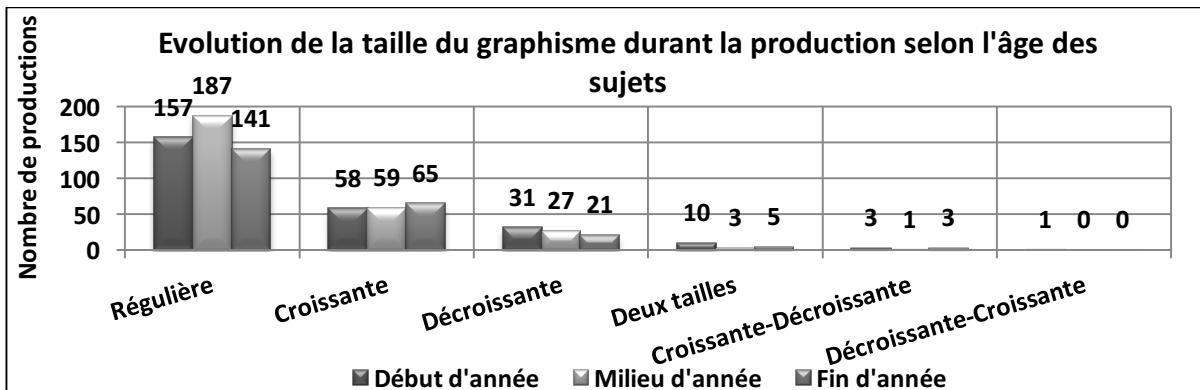


Figure 77: Evolution de la taille du graphisme durant la production selon l'âge des sujets

- Evolution de la taille du graphisme selon les rythmes

La variabilité des productions durant le cours de l'expérience indique que l'évolution de la taille (croissante ou décroissante) dépend du rythme auditionné :

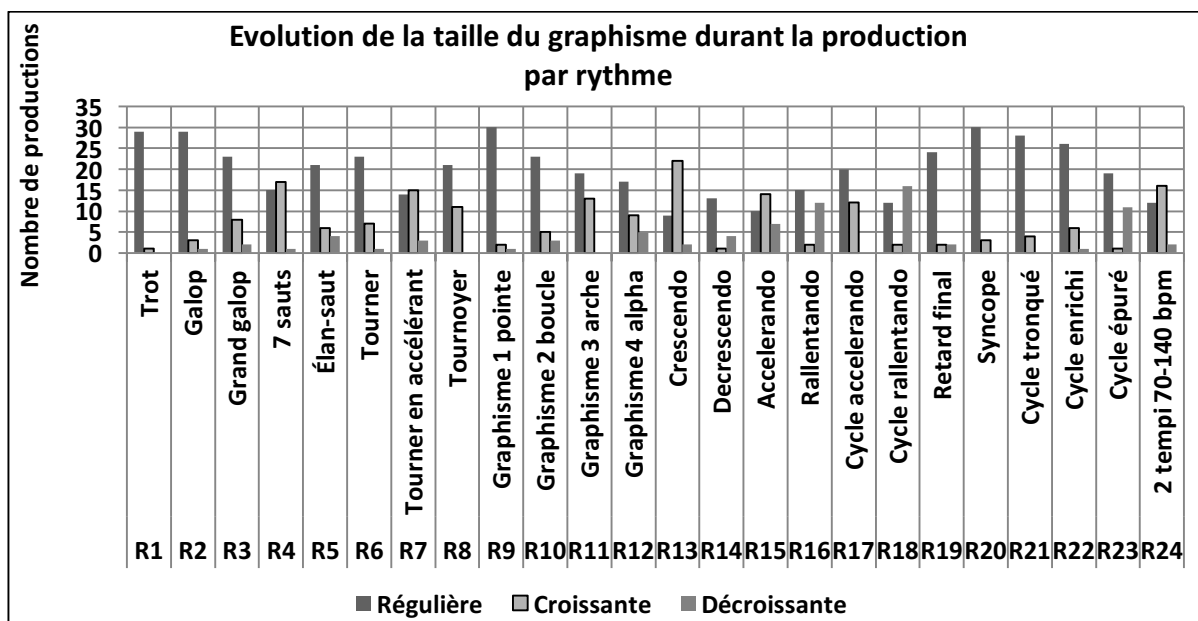


Figure 78: Evolution de la taille du graphisme par rythme

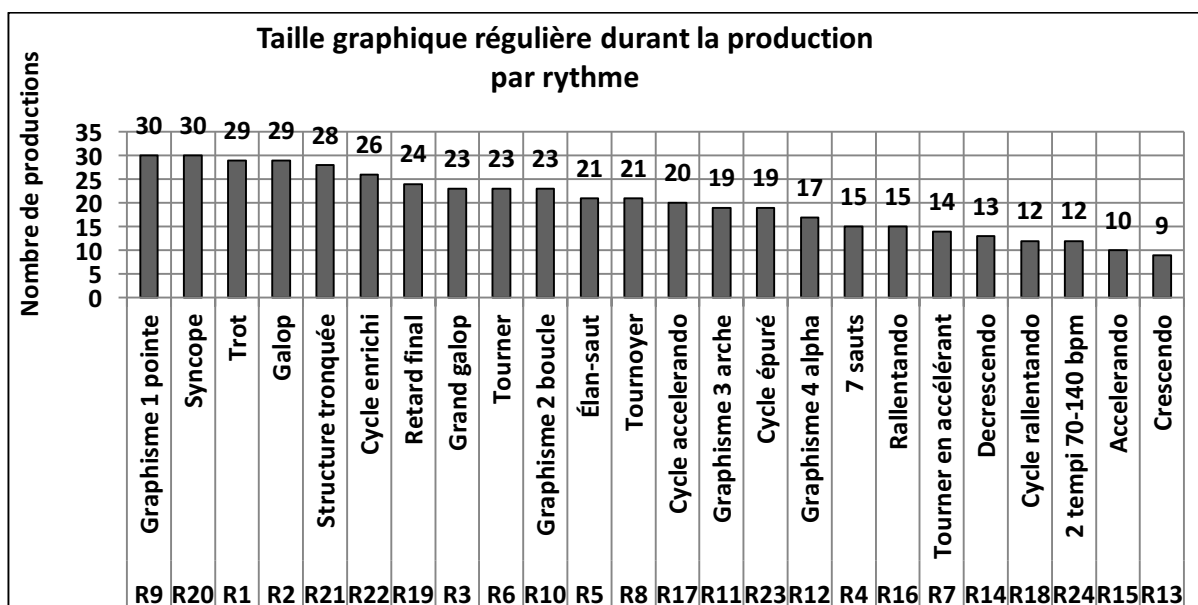


Figure 79: Taille graphique régulière durant la production, par rythme

90% des productions sur R1 Trot, R2 Galop, R9 Graphisme pointe, R20 Syncope et R21 Structure tronquée ont un graphisme de taille constante durant l'item, ces rythmes ayant une faible fréquence de frappes.

Des variations rythmiques d'intensité et de vitesse semblent engendrer des modifications de la taille du graphisme. Ainsi, l'accroissement de la taille graphique serait lié à l'intensification du rythme R13 *Crescendo*, ou à l'accélération de tempo des rythmes R24 Deux tempi, R7 Tourner en accélérant, R15 *Accelerando* :

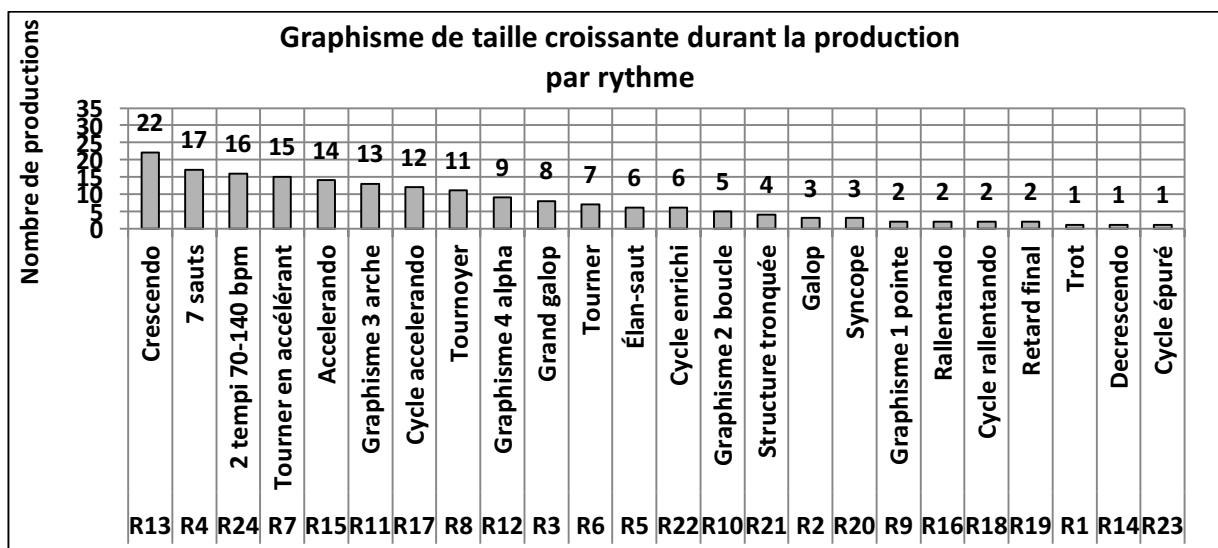


Figure 80: Graphisme de taille croissante durant la production, par rythme

La décroissance de la taille graphique est corrélée à la diminution de la fréquence de frappes des rythmes R18 *Cycle rallentando*, R16 *rallentando*, R23 *Cycle épuré*, plus qu'à la baisse d'intensité :

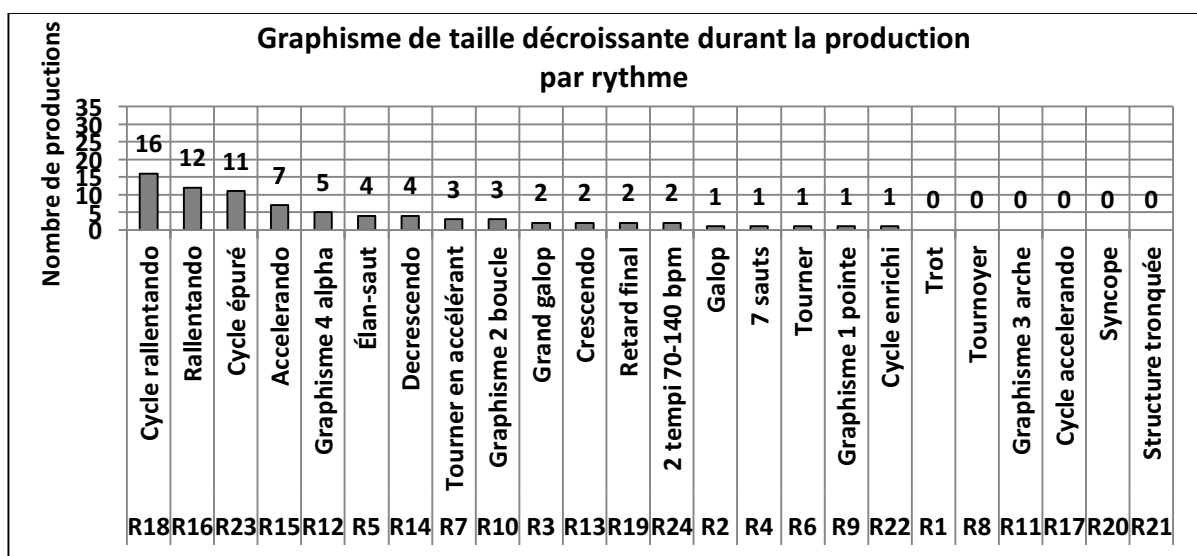


Figure 81: Graphisme de taille décroissante durant la production, par rythme

Contrairement au R13 *Crescendo* qui est représenté par une taille régulièrement croissante, on note que, dans la moitié des cas, le R14 *Decrescendo* est représenté par deux tailles différentes (grande-petite ou moyenne-petite) durant la représentation du rythme. On analysera plus finement ce cas dans le chapitre suivant, avec l'étude des effets de propriétés dynamiques du rythme sur la forme dynamique graphique.

On note enfin le cas particulier du R15 *Accelerando* dont la diminution de la taille graphique paraît non conforme à l'accélération des frappes du rythme. Toutefois,

l'observation de la dynamique du graphisme indique une accélération du traçage de graphes de taille décroissante, la vitesse venant effectivement s'accorder avec la fréquence de frappes. Ceci indique l'importance de l'analyse du couplage vitesse-taille graphique dans l'étude des formes dynamiques spatiales.

5.1.4 Traitement de l'espace graphique et évolution durant la production

L'alignement est un traitement spatial de l'information graphique qui permet de traduire le déroulement du temps perçu dans les rythmes. Il donne l'idée du début, du cours et de la fin du message sonore perçu. On constate que la majorité des enfants (70%) recourt à ce moyen de représentation de la succession temporelle des événements sonores :

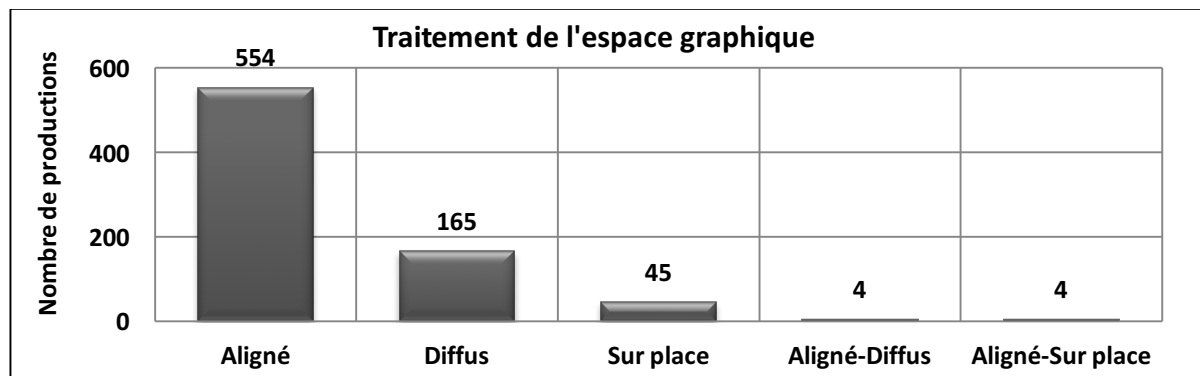
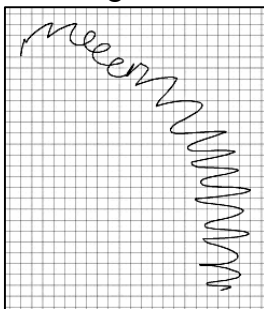


Figure 82: Traitement de l'espace graphique

Par sa fréquence, l'alignement des graphismes constitue un trait caractéristique des représentations graphiques du rythme. Seules, près de 20% des productions présentent des graphismes diffus sur la feuille (points/traits/gribouillages) et rejoignent les productions des enfants plus jeunes, par gesticulation traçante et décharge motrice. Les représentations « sur place » sont plus rares encore. Les exemples suivants déclinent ces trois variétés de traitement de l'espace graphique :

70% Aligné R18F04CKB



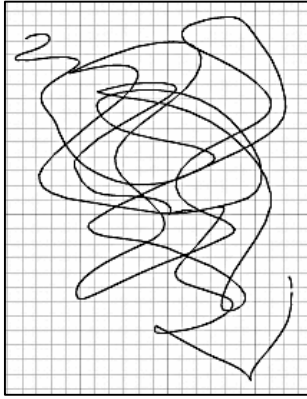
18 Cycle Rallentendo (Gubbâhî) 4.5

♩ = 100

rall. - - - poco rall. - - - molto rall.

Exemple musical 49: Rythme 18 « Cycle *accelerando* »

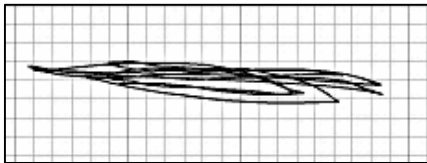
20% Diffus R23G12SRG



23 Cycle épuré (Maqsum) 6.7

Exemple musical 50: Rythme 23 « Cycle épuré »

5% Sur place R1F03CC



1 Trot 3.6

Habib Yammine

Exemple musical 51: Rythme 1 « Trot »

- **Traitement de l'espace graphique selon le genre et l'âge des sujets**

Le traitement spatial des graphismes est peu différencié entre filles et garçons :

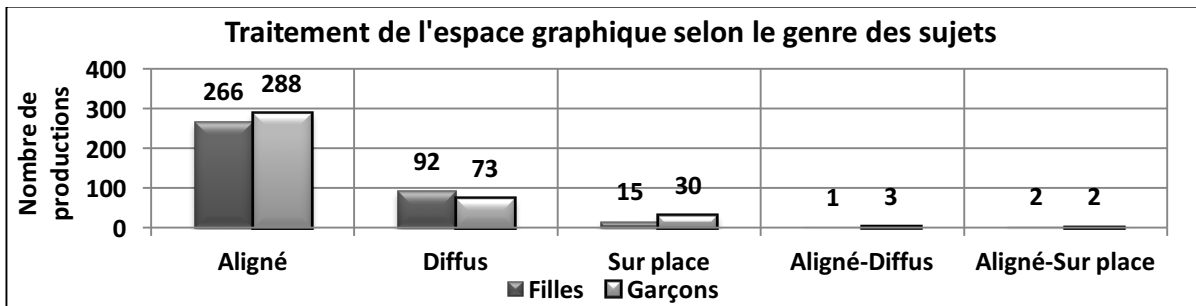


Figure 83: Traitement de l'espace graphique selon le genre des sujets

En revanche, les enfants les plus âgés structurent plus systématiquement l'espace de la feuille, représentant seulement 15% des productions de graphismes diffus.

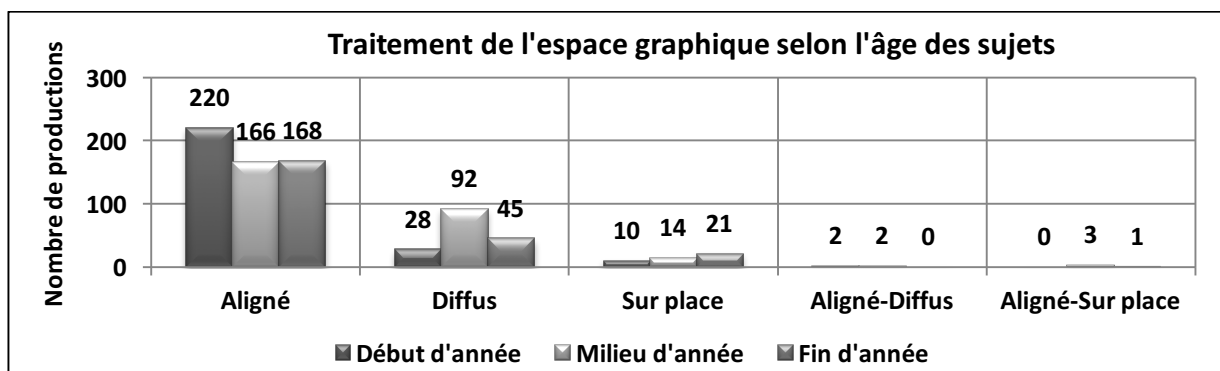


Figure 84: Traitement de l'espace graphique selon l'âge des sujets

- **Traitement de l'espace graphique selon les rythmes**

Les graphismes étant majoritairement alignés dans les productions, le traitement de l'espace-feuille n'est pas un critère de différenciation des rythmes perçus. Toutefois, on constate quelques variations dans les productions au cœur puis en fin d'expérience :

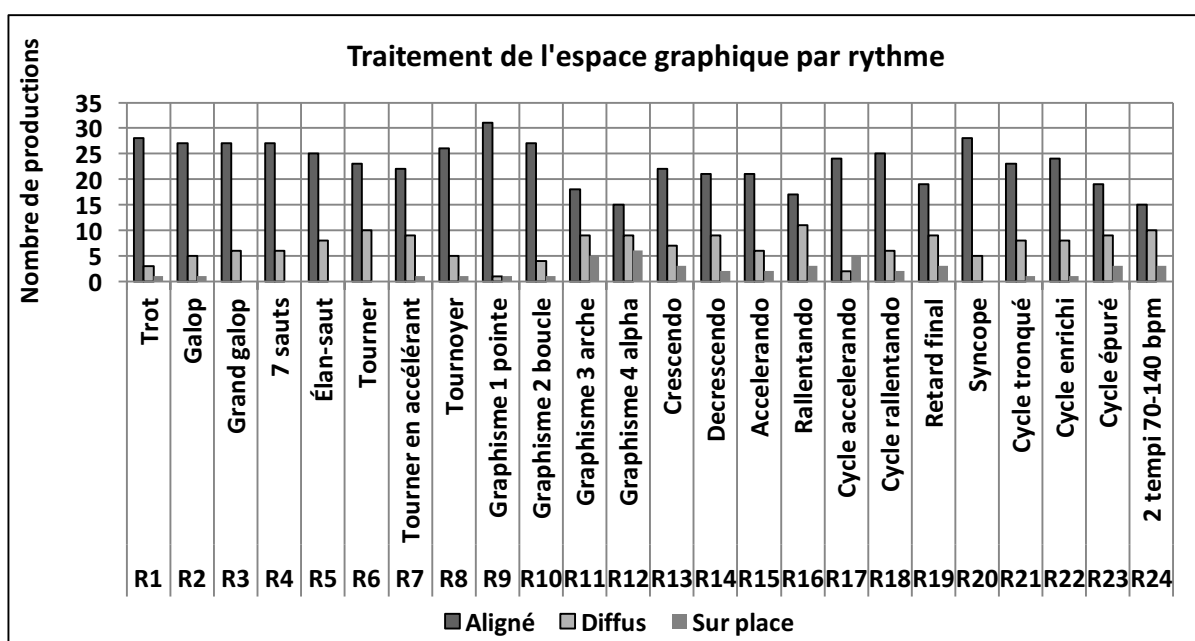


Figure 85: Traitement de l'espace graphique par rythme

La presque totalité des productions graphiques présentent un alignement sur R9 Graphisme pointe (95%) et sur R1 Trot et R10 Graphisme boucle (90%). Ces rythmes ne présentent pratiquement pas de modifications de durées ou d'intensité durant leur cours.

Les graphismes plus souvent diffus sont tracés sur des rythmes ayant un nombre de frappes élevé : R16 *Rallentando* et R24 Deux tempi (35%) ; R6 Tourner, R7 Tourner en accélérant, R11 Graphisme arche, R12 Graphisme alpha (30%) :

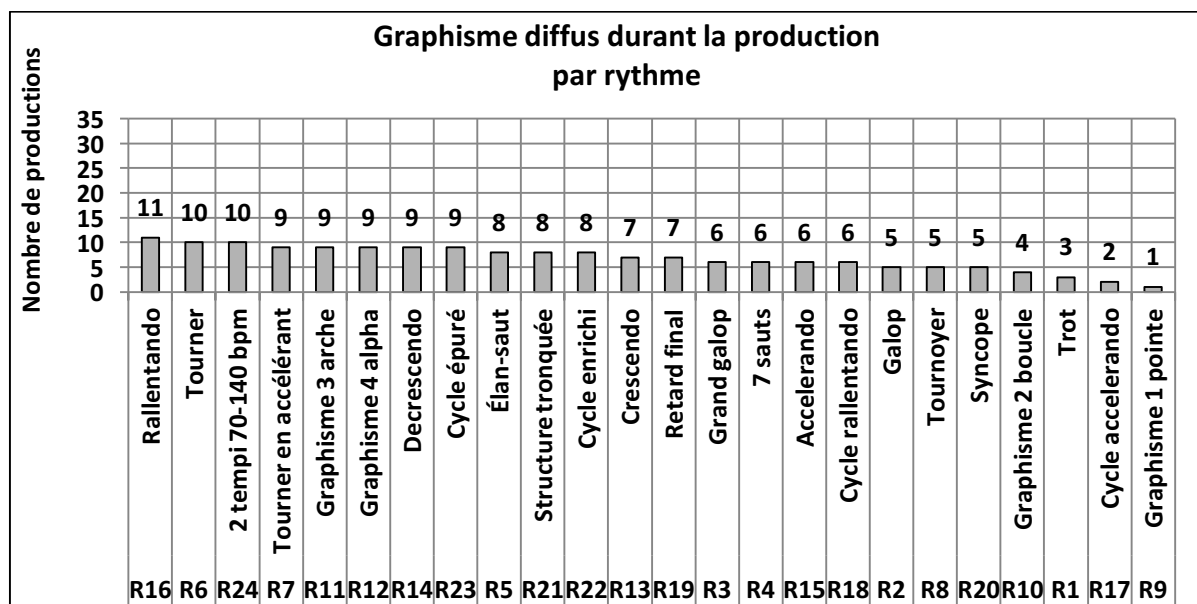


Figure 86: Graphisme diffus durant la production, par rythme

La production graphique sur place est rare mais elle se produit dans les cas de rythmes dont la fréquence de frappes est particulièrement élevée durant l’item : R12 Graphisme alpha (20%) ; R11 Graphisme arche, R17 Cycle *accelerando* (15%).

5.1.5 Continuité du traçage

Le traçage est continu dans 65% des cas. La discontinuité graphique intervient de diverses manières dans environ 35% des productions :

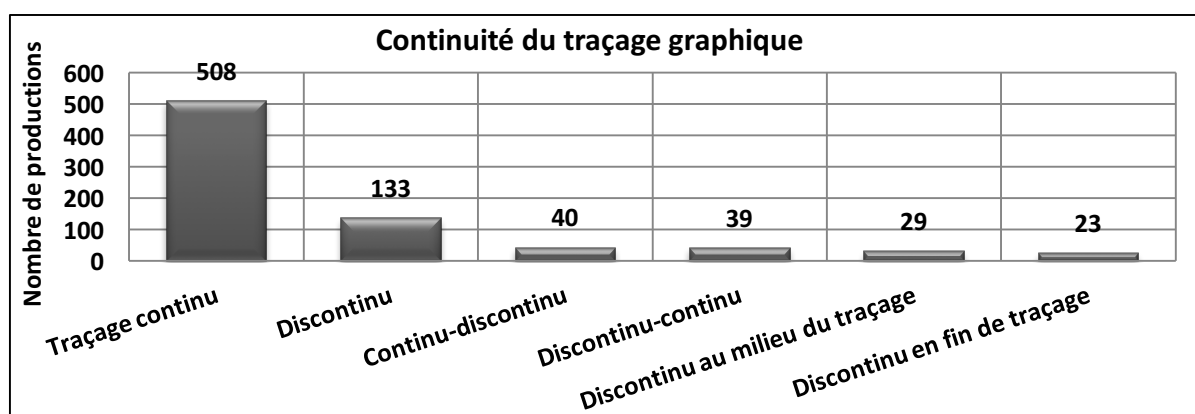
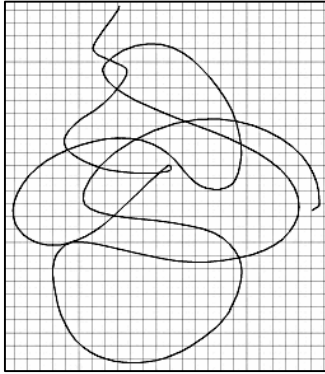


Figure 87: Continuité du traçage graphique

Les vidéos de traçage précisent le moment de la discontinuité qui n’apparaît pas forcément dans la forme des traces suivantes :

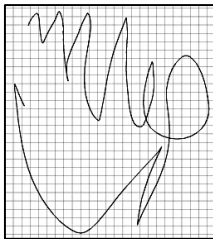
65% Traçage continu R13G05CM



13 Crescendo 4.4

Exemple musical 52: Rythme 13 « Crescendo »

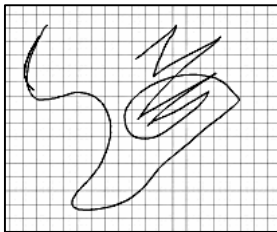
17% Traçage discontinu R13F07LB



13 Crescendo 4.4

Exemple musical 53: Rythme 13 « Crescendo »

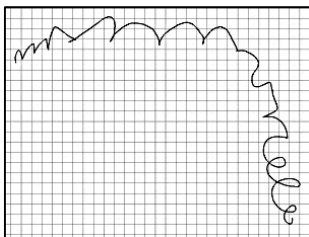
5% Continu-discontinu R16G09VL



16 Rallentando 6.2

Exemple musical 54: Rythme 16 « Rallentando »

5% Discontinu-continu R7F04CKB



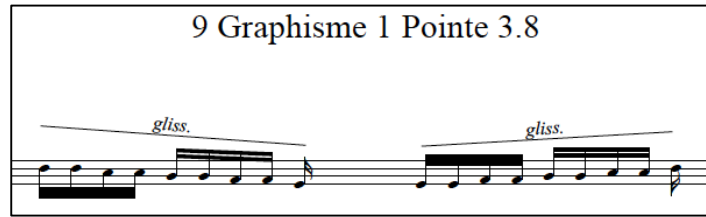
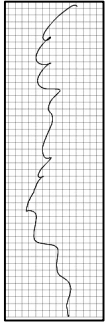
7 Tourner en accélérant 6

♩ = 90 - 118 - 148

accel. poco accel. molto accel.

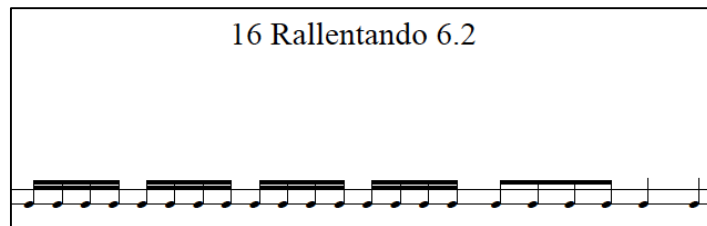
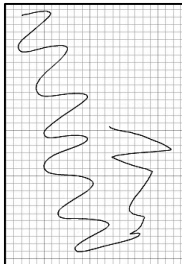
Exemple musical 55: Rythme 7 « Tourner en accélérant »

4% Discontinu au milieu du traçage R9G06MB



Exemple musical 56: Rythme 9 « Graphisme 1 Pointe »

3% Discontinu en fin de traçage R16G12SRG



Exemple musical 57: Rythme 16 « Rallentando »

- Continuité du traçage selon le genre et l'âge des sujets

Ce critère de continuité graphique ne relève ni du genre ni de l'âge des sujets :

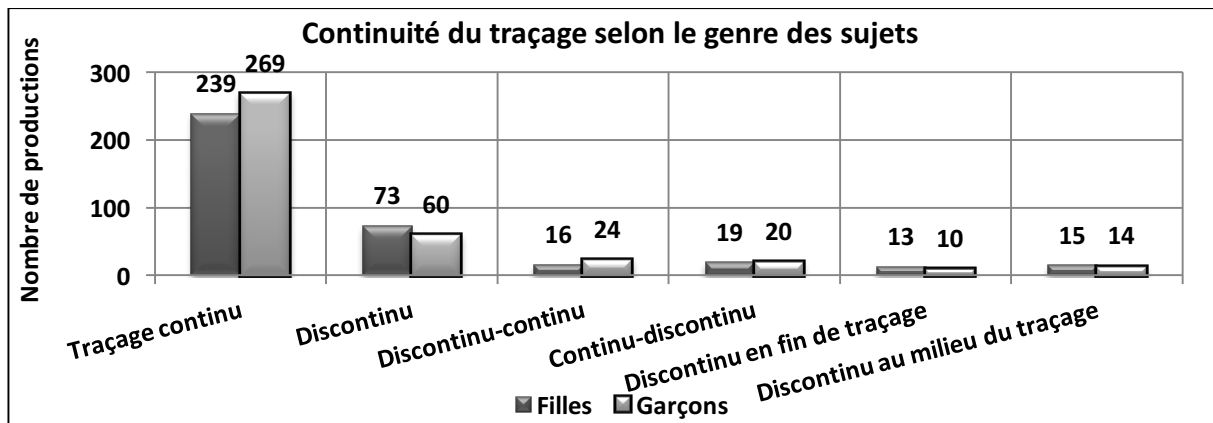


Figure 88: Continuité du traçage selon le genre des sujets

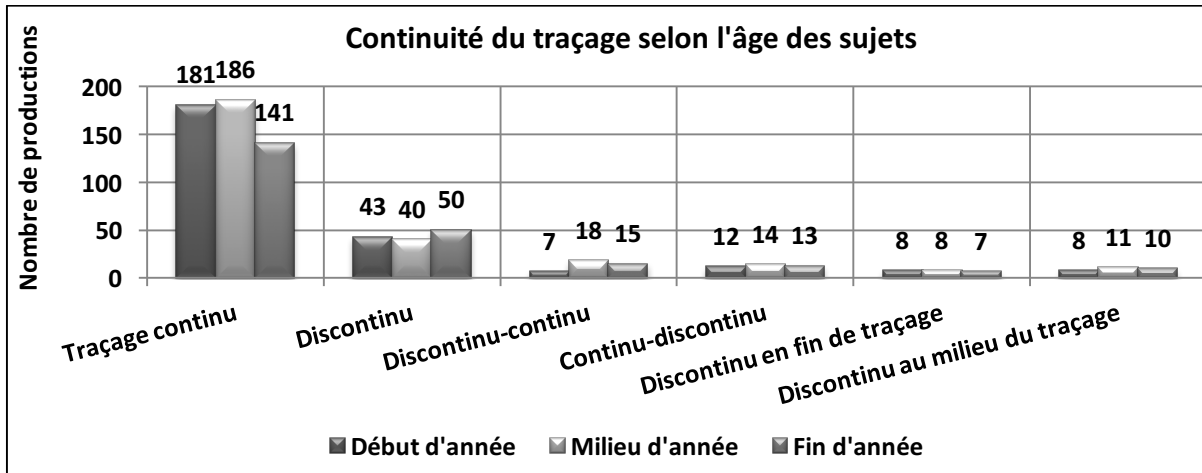


Figure 89: Continuité du traçage selon l'âge des sujets

On note une légère tendance des enfants les plus jeunes à produire moins de traçages continus.

- **Continuité du traçage selon les rythmes**

La forte variation des résultats au cours de l'expérience indique que ce critère graphique est fonction des rythmes :

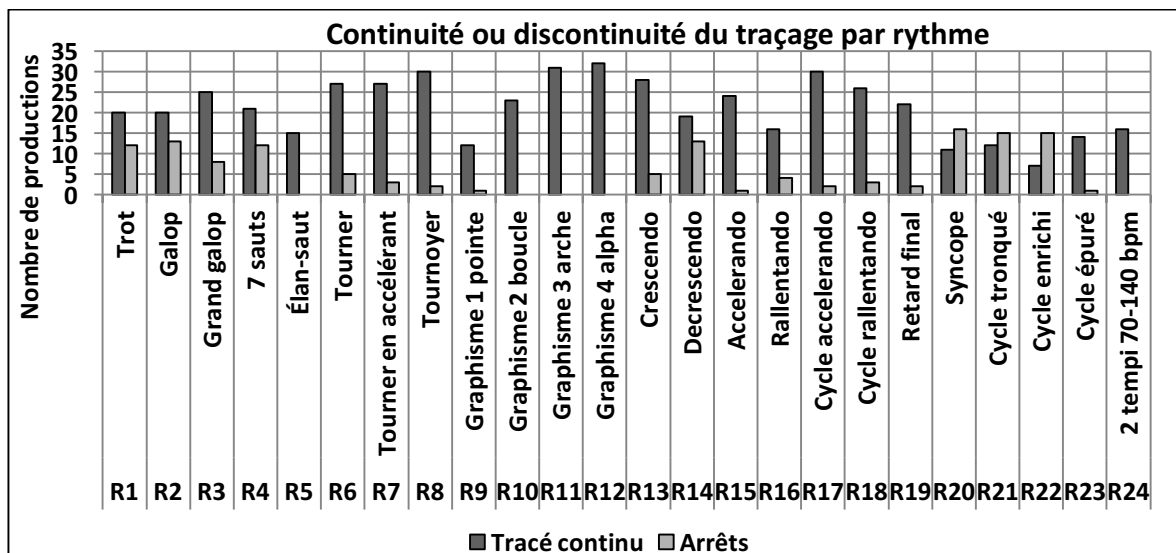


Figure 90: Continuité ou discontinuité du traçage par rythme

Les rythmes les plus représentés par des graphismes discontinus présentent une irrégularité de structure : R20 Syncope (50%) ; R21 Cycle tronqué (45%) ; une forte évolution interne : R22 Cycle enrichi (45%) ; des motifs rythmiques nettement séparés : R2 Galop

(40%) ; une baisse d'intensité : R14 *Decrescendo* (40%). D'autres rythmes engendrent une interruption du traçage au milieu de la production soit selon le long silence au milieu de l'item de R9 Graphisme pointe (60%) et selon l'intensité *pianissimo* sur R10 Graphisme boucle (30%) ; en fin d'item suivant le silence du R5 Elan-Saut (55%) et le *rallentando* du R19 Retard final (15%). Dans quelques cas, la continuité évolue au cours de l'item :

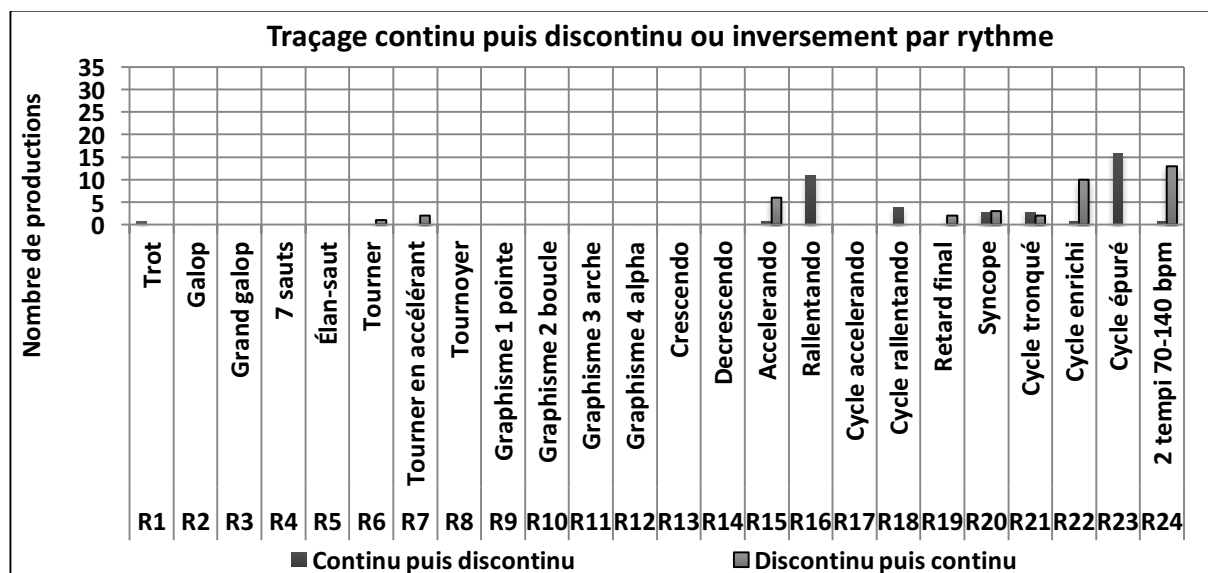


Figure 91: Traçage continu puis discontinu ou inversement, par rythme

Des discontinuités graphiques apparaissent lorsque le nombre de frappes diminue en cours d'item : R23 Cycle épuré (50%) ; R16 *Rallentando* (35%) ; R18 Cycle *rallentando* (10%). Inversement, le graphisme devient continu dans les cas d'élévation de la fréquence de frappes en cours d'item : R24 Deux tempi (45%) ; R22 Cycle enrichi (30%) ; R15 *Accelerando* (20%). Dans quelques cas, l'irrégularité de la structure rythmique engendre des arrêts durant le traçage : R20 Syncope, R21 Cycle tronqué (10%).

5.1.6 Jonction du graphisme

La majorité des tracés sont joints (80%). Près de 18% des productions présentent des traces disjointes :

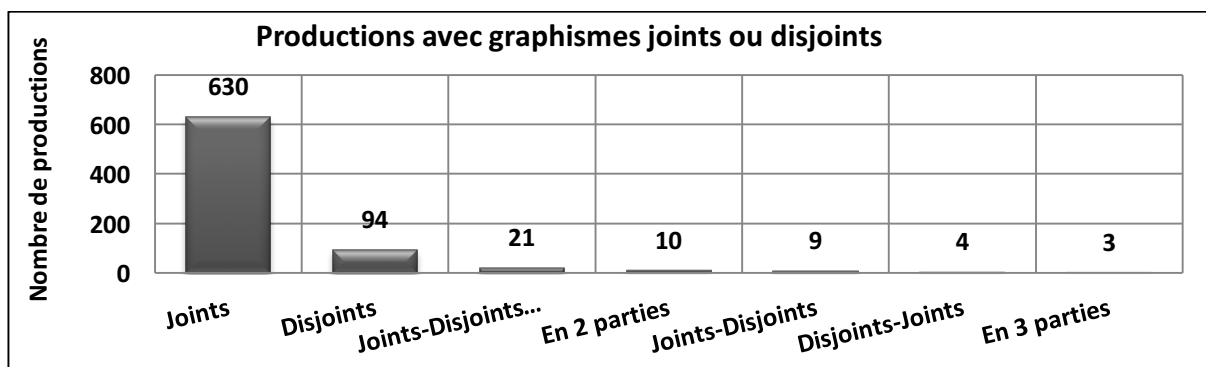
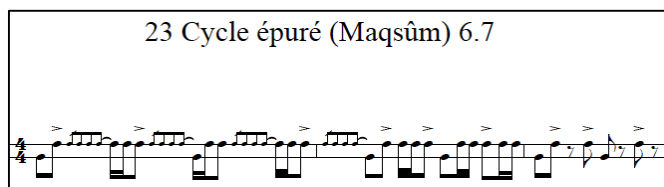
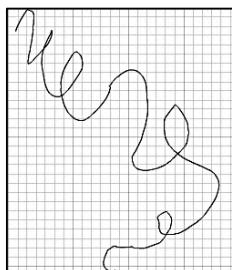


Figure 92: Productions avec graphismes joints ou disjoints

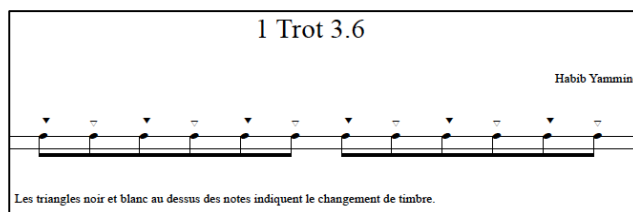
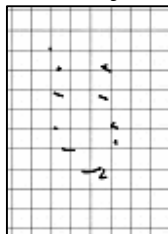
Les tracés suivants représentent les différents cas de figure :

80% Joint R23G02CT



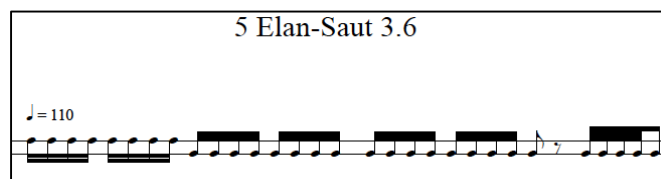
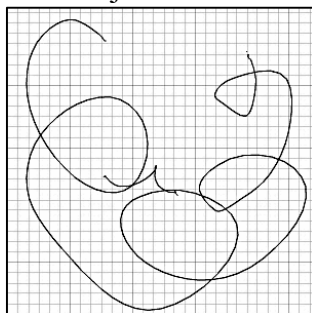
Exemple musical 58: Rythme 23 « Cycle épuré »

12% Disjoint R1G05CM



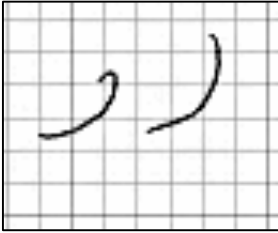
Exemple musical 59: Rythme 1 « Trot »

Joint-disjoint à la fin R5F04VF (21 productions)



Exemple musical 60: Rythme 5 « Elan-Saut »

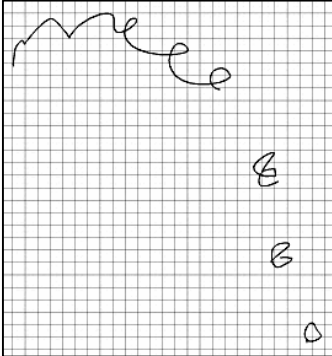
En deux parties R9F03CC (10 productions)



9 Graphisme 1 Pointe 3.8

Exemple musical 61: Rythme 9 « Graphisme 1 Pointe »

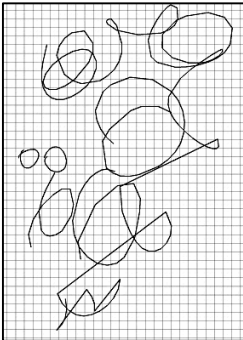
Joint-disjoint R17F04CKB (9 productions)



17 Cycle accelerando (Gubbâhî) 4.8

Exemple musical 62: Rythme 17 « Cycle *accelerando* »

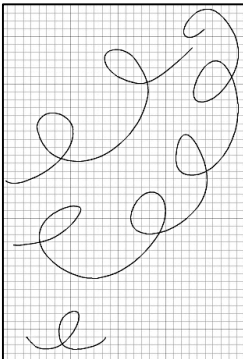
Disjoint-joint R24F09KP (4 productions)



24 Deux tempi 70 - 140 bpm (Ayyûb) 7

Exemple musical 63: Rythme 24 « Deux tempi 70-140 bpm »

En trois parties R23F04CC (3 productions)



23 Cycle épuré (Maqsûm) 6.7

Exemple musical 64: Rythme 23 « Cycle épuré »

- **Jonction du graphisme selon le genre et l'âge des sujets**

Ce critère graphique ne dépend ni du genre ni de l'âge des sujets :

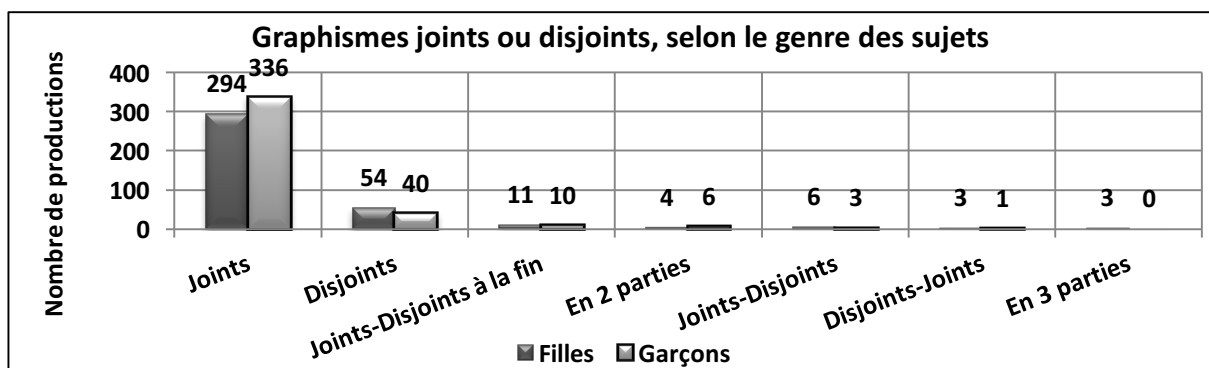


Figure 93: Graphismes joints ou disjoints, selon le genre des sujets

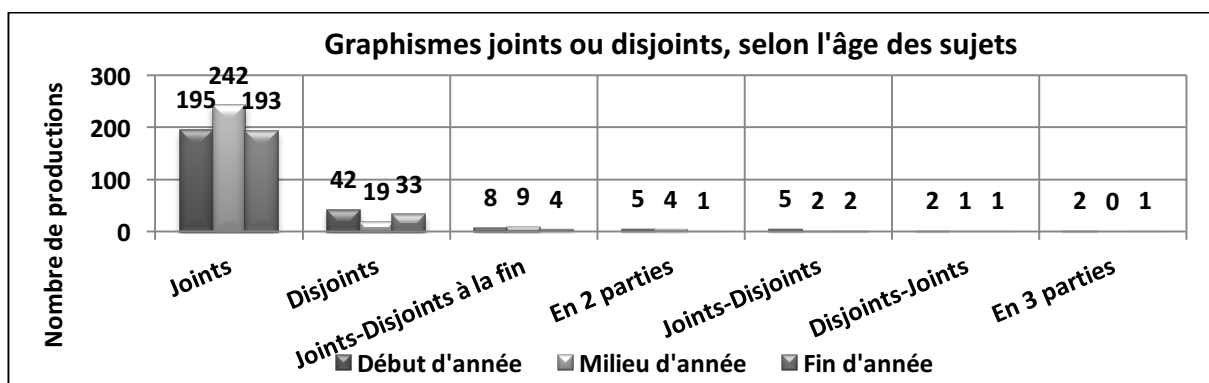


Figure 94: Graphismes joints ou disjoints, selon l'âge des sujets

- **Jonction du graphisme selon le rythme**

Le graphisme est disjoint en milieu de traçage sur le silence du rythme R9 Graphisme pointe (30%) et joint puis disjoint en fin de traçage suivant la pause du R5 Elan-Saut (40%), et suivant l'évolution de la baisse de la fréquence de frappes : R16 *Rallentando* (4 productions) et R19 Retard final (2 productions). Le graphisme est joint *et* continu dans 95% des productions sur R11 Graphisme arche, R12 Graphisme alpha, R13 *Crescendo*, R17 Cycle *accelerando*, R18 Cycle *rallentando*.

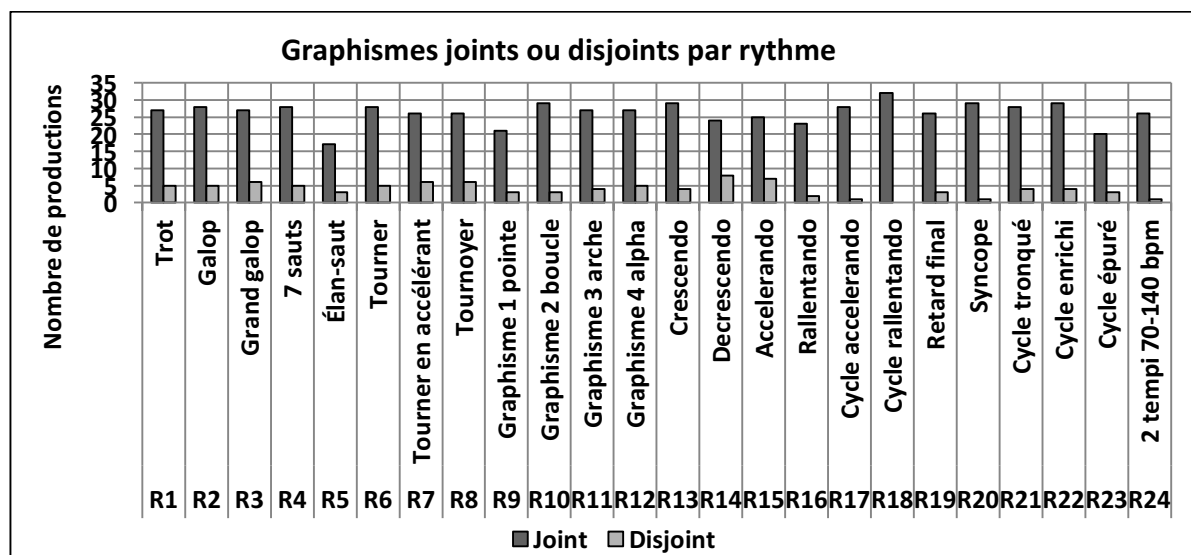


Figure 95: Graphismes joints ou disjoints par rythme

5.1.7 Bilan

Les résultats de l'analyse indiquent que la forme du graphisme est un critère pertinent de différenciation des propriétés rythmiques pour ces enfants de cinq ans, mais il est indépendant du genre et de l'âge des sujets. Les formes variées des productions enfantines contiennent de nombreuses informations graphiques en lien avec les propriétés rythmiques liées à la périodicité, la régularité, la continuité, qui sont communes au rythme moteur spatial et musical. En revanche, on constate peu d'évolution du motif des formes graphiques durant chaque production enfantine, hormis l'évolution de la taille des traces et donc de l'amplitude du mouvement graphique. Les formes graphiques suivent ponctuellement la pulsation ou les motifs et fournissent des informations sur l'organisation temporelle interne des patterns rythmiques. L'absence de représentations figuratives ou symboliques tend à indiquer que l'aspect dynamique du graphisme prime sur sa forme. Ceci mène à l'analyse des caractéristiques dynamiques du graphisme dans lesquelles sont probablement contenues des informations sur l'organisation de l'intensité et des durées des rythmes, facteurs de mobilité.

5.2 Dynamique graphique

La dynamique graphique est analysée ici suivant la vitesse du traçage graphique et son évolution durant la production enfantine. La vitesse est une donnée cinématique abstraite du mouvement. Le visionnage du traçage permet d'estimer son évolution durant la production de

l'enfant et son rapport avec le rythme. Toutefois, la marge d'erreur de cette analyse audiovisuelle est relativement importante car il est difficile d'évaluer la vitesse d'un graphisme indépendamment de la forme tracée. La vitesse du traçage est-elle en lien avec les propriétés d'intensité et de durées des rythmes ? Est-elle dépendante du genre et de l'âge des sujets ?

5.2.1 Évolution de la vitesse durant la production graphique

Les réactions graphomotrices des enfants de cinq ans sont généralement contrôlées. En effet, sur l'ensemble des productions graphiques, seules 10% présentent une vitesse instable. 30% des productions sont stables durant tout l'item, avec un pattern graphique cinétique, c'est-à-dire un motif graphique qui présente un profil de vitesse propre, donc une régularité, une périodicité :

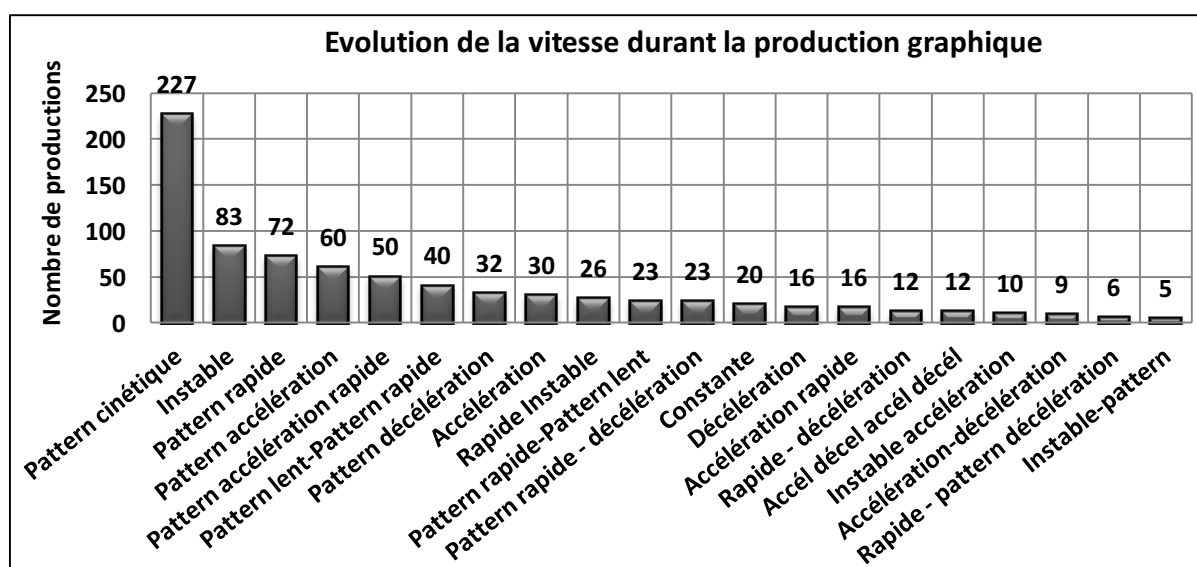


Figure 96: Evolution de la vitesse durant la production graphique

Finalement, il s'avère que les patterns cinétiques sont présents en tout ou partie dans 70% des représentations *enactives* enfantines.

5.2.2 Dynamique graphique selon les rythmes

On distingue différents types d'évolution de la vitesse, suivant que les traçages sont réguliers (patterns cinétiques) ou non, avec une vitesse particulièrement rapide, ou encore comportant des accélérations et des décélérations. Ces différents types sont inégalement répartis sur l'ensemble des productions graphiques :

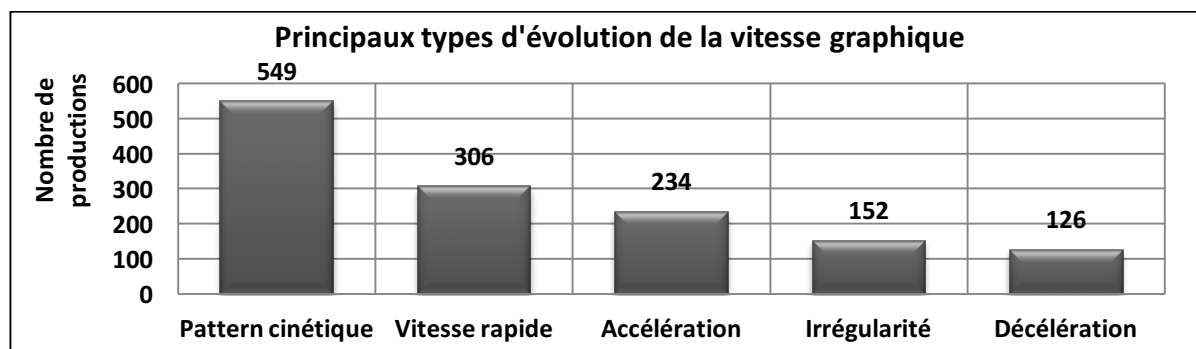


Figure 97: Principaux types d'évolution de la vitesse graphique

Ces évolutions de la dynamique du graphisme sont-elles en lien avec les rythmes ?

5.2.2.1 Patterns cinétiques

Les productions graphiques avec patterns cinétiques sont les plus nombreuses de l'expérience et semblent liées aux caractéristiques des rythmes, le nombre de ces productions variant durant l'expérience :

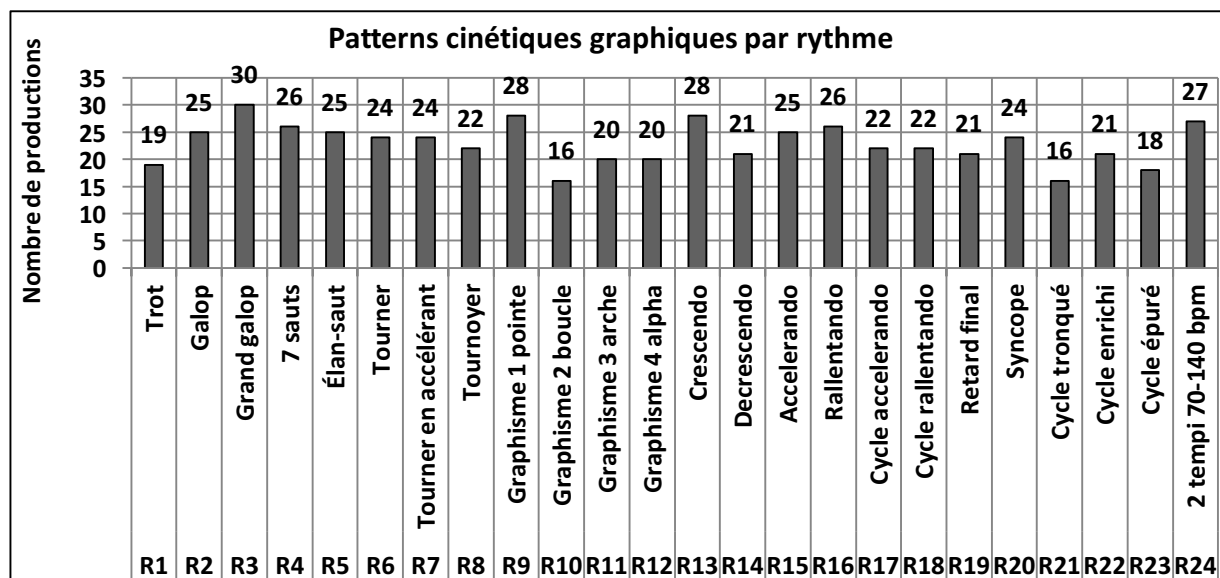


Figure 98: Patterns cinétiques graphiques par rythme

90% de ces productions avec patterns cinétiques sont tracées sur les rythmes R3 Grand galop, R24 Deux tempi, R9 Graphisme pointe, R13 *Crescendo*. Les rythmes les moins représentés par ces patterns cinétiques sont R1 Trot, très régulier mais en première position dans l'expérience, R10 Graphisme boucle, R21 Cycle tronqué et R23 Cycle épuré. Ces derniers sont les moins aptes à produire une régularité graphique du fait de l'absence de motif

et des frappes peu accentuées et de fréquence très élevée (R10), de l'irrégularité de structure (R21), de l'évolution du nombre de frappes (R23).

5.2.2.2 Vitesse irrégulière

Par opposition aux nombreux patterns graphiques, signes de régularité du mouvement, les taux de productions de vitesse irrégulière sont globalement faibles mais variés selon les rythmes :

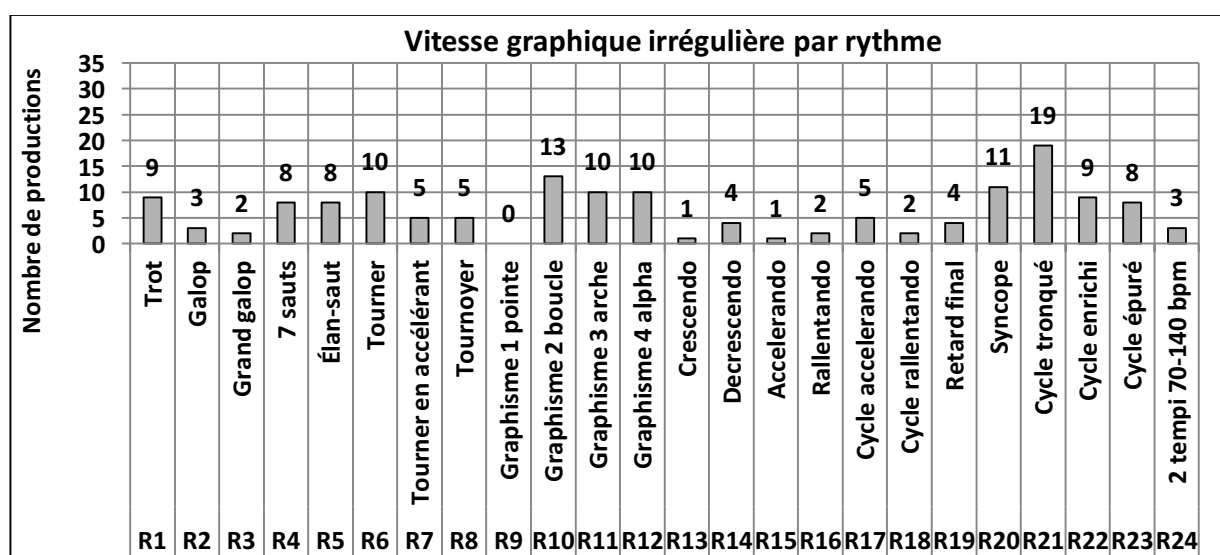


Figure 99: Vitesse graphique irrégulière, par rythme

60% des productions produites sur le R21 Cycle tronqué présentent une vitesse irrégulière liée à la troncation de la structure rythmique. 40% des productions irrégulières sur R10 Graphisme boucle seraient liés à des frappes peu accentuées et de fréquence très élevée. En revanche, R3 Grand galop, R13 *Crescendo*, R15 *Accelerando*, R16 *Rallentando* et R18 *Cycle rallentando* présentent une régularité de vitesse graphique remarquable, liée à la régularité du rythme, sans évolution interne (R3) ou avec une évolution régulière (R13, R15, R16, R5).

5.2.2.3 Vitesse élevée, supérieure à 50 cm/s

Ce critère graphique varie fortement suivant les rythmes et semble donc fortement corrélé aux propriétés rythmiques :

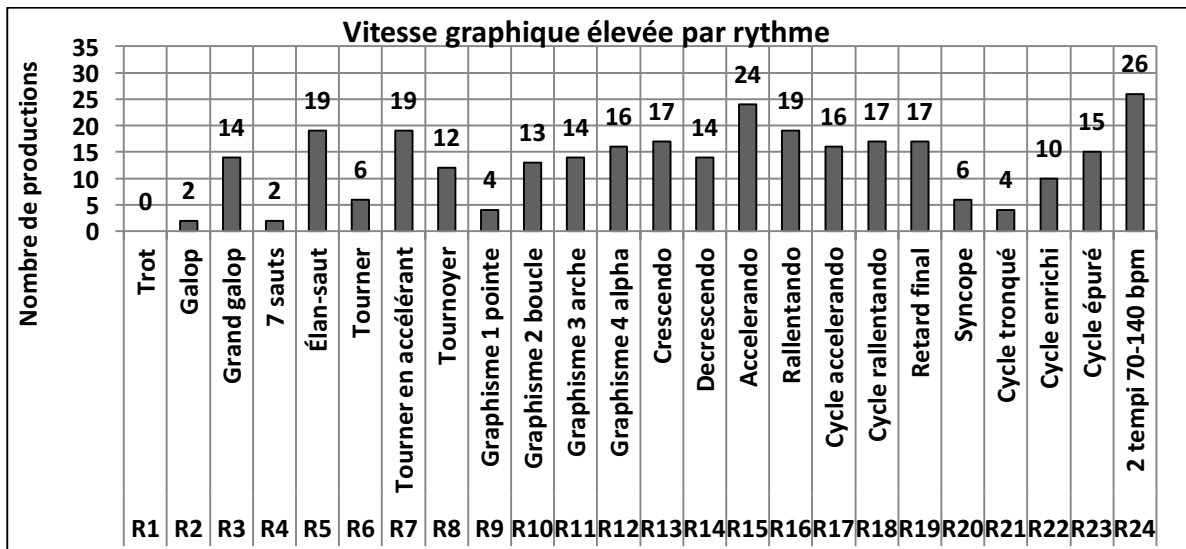


Figure 100: Vitesse graphique élevée, par rythme

R24 Deux tempi et R15 *Accelerando* engendrent des productions graphiques avec des vitesses particulièrement élevées, conformément à leur fréquence de frappes. A contrario, R2 Galop, R4 Sept sauts et R21 Cycle tronqué engendrent des graphismes de vitesse assez lente, effet sans doute induit par la pause entre les frappes ou entre les motifs rythmiques (R2 et R4) et par une faible fréquence de frappes et une irrégularité de structure (R23) qui limitent la vitesse de la production graphique.

5.2.2.4 Accélération ou décélération graphique

Certains rythmes engendrent de fortes variations de vitesse graphique en cours d'item :

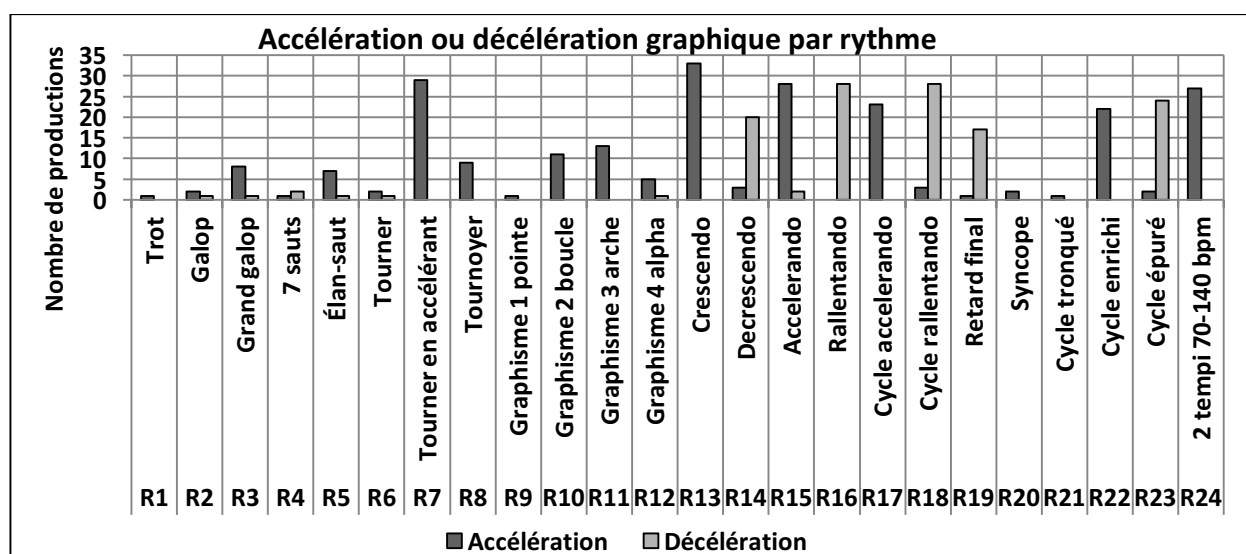


Figure 101: Accélération ou décélération graphique, par rythme

L'accélération graphique est fortement liée à l'intensification des frappes : la totalité des 33 productions enfantines accélèrent sur R13 *Crescendo*. A l'opposé, 60% des productions graphiques décélèrent sur R14 *Decrescendo*. On note l'asymétrie des réactions motrices liées à l'intensité des rythmes : le nombre de productions graphiques qui accélèrent sur un *crescendo* est nettement plus élevé que le nombre de productions qui décélèrent sur un *decrescendo*. L'accélération graphique est également fortement corrélée à l'augmentation de la fréquence de frappes, sur R7 Tourner en accélérant, R15 *Accelerando* et R24 Deux tempi (90%). La décélération graphique est liée aux mêmes propriétés rythmiques, opposées : 90% des productions graphiques décélèrent sur R16 *Rallentando*, 85% sur R18 Cycle *Rallentando*, 80% sur R23 Cycle épuré. Cette fois, les réactions graphiques suivant la fréquence de frappes sont plus symétriques.

5.2.3 Dynamique graphique selon les sujets

On constate peu de variations selon le genre des sujets, les garçons ayant une légère tendance à plus d'irrégularité et de célérité dans la vitesse de production graphique :

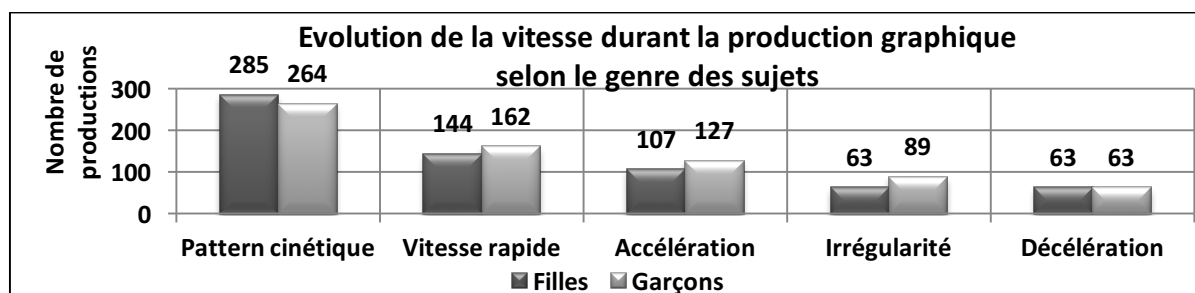


Figure 102: Evolution de la vitesse durant la production graphique selon le genre des sujets

L'âge n'est pas significatif dans l'évolution de la vitesse graphique :

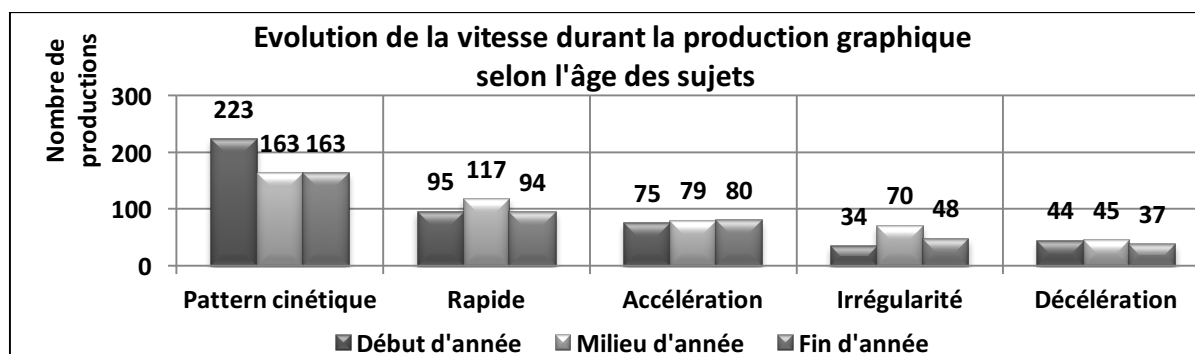


Figure 103: Evolution de la vitesse durant la production graphique selon l'âge des sujets

On note toutefois la tendance des enfants plus âgés à faire preuve de régularité au cours de leurs productions avec 40% de productions avec patterns cinétiques contre 30% chez les enfants du milieu et de fin d'année, et avec 20% de productions de vitesse irrégulière contre 45% du milieu d'année et 30% nés en fin d'année, résultats probablement liés à une différence de maturité grapho-motrice entre les sujets.

5.2.4 Cas des graphismes avec vitesse élevée et forte accélération

Un problème d'enregistrement des coordonnées du stylo, et donc de calcul de vitesse graphique, a permis de relever de nombreux cas de productions graphiques dont la vitesse est très élevée et/ou l'accélération graphique très forte et, par la suite, de chercher les liens éventuels de ces données dynamiques avec les propriétés rythmiques des rythmes à l'origine de ces représentations graphiques.

5.2.4.1 Problème de calcul de vitesse

Les 792 productions enfantines transférées vers l'ordinateur avant tout traitement de données sont intactes, hormis 20 productions défectueuses, écartées du corpus car non évaluables. Les 772 données numérisées restituent fidèlement le traçage et la trace des productions graphiques initialement réalisées par l'enfant. Ces données permettent l'analyse audiovisuelle des informations de dynamique et de forme graphiques qu'elles contiennent. En revanche, on constate que 40% des productions graphiques posent un problème de transfert des coordonnées du stylo dans le tableur Excel et donc un problème de calcul de la vitesse. Il peut avoir pour origine la tenue du stylo lors du traçage. En effet, l'observation attentive des traçages indique dans quelques cas que l'erreur dans l'enregistrement des données est due à la position du stylo par rapport au plan de traçage : une forte inclinaison du stylo, donc un angle faible avec la feuille, ou une forte et/ou rapide variation de cette inclinaison engendrent des problèmes de capture d'images par la caméra infra rouge du stylo. Dans ces cas, les traçages présentent un défaut dans leur déroulement : on observe soit un décalage entre le traçage et le son du frottement de la pointe du stylo sur la feuille (Cas R2G01LG) soit la disparition momentanée de l'encre du tracé (Cas R15F10SR).

Mais, dans la grande majorité des cas de problème de calcul de vitesse, les traçages initialement transférés et enregistrés du stylo sur l'ordinateur sont corrects. Ils reproduisent fidèlement la trajectoire de la pointe du stylo telle qu'elle s'est déroulée lors de l'expérience. Le problème survient donc ultérieurement, lors de la phase d'extraction des coordonnées (x,y)

par le programme informatique de décodage des données numériques du stylo. Lorsque les valeurs des coordonnées (x,y) sont supérieures à 5928 u en abscisse et/ou supérieures à 7960 u en ordonnées, les trajectoires recalculées par le tableau Excel sortent des limites du cadre qui correspond à celui du cahier numérique et le calcul de vitesse, basé sur ces coordonnées, aboutit à des résultats aberrants.

L'analyse des données des fichiers Excel contenant des erreurs d'encodage des coordonnées (x,y) permet de constater que, dans de nombreux cas, ces erreurs de coordonnées sont précédées d'une accélération forte et rapide de la pointe du stylo, à la suite de laquelle les valeurs x et/ou y croissent excessivement, dépassant les limites de coordonnées du cahier.

Les deux cas suivants illustrent la chronologie de ces événements : une accélération graphique provoque un problème d'enregistrement de coordonnées qui aboutit à des mesures de vitesse aberrantes. On pourra comparer les deux trajectoires, réelle (scannée du cahier A4) et recalculée par le tableur, et observer trois éléments dans le tableau de calcul de vitesse : une zone de forte accélération de la vitesse (zone grisée de la colonne de droite) ; un accroissement et dépassement des valeurs des coordonnées (abscisses et/ou ordonnées en caractères gras) ; des valeurs de vitesse aberrantes.

Cas R3F06LZ

Production graphique conservée sur papier et scannée :

3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 65: Rythme 3 « Grand galop »

Dans le tableau Excel suivant, on remarque, dans l'ordre chronologique (Cf. Colonne 1, « temps initialisé »), une forte accélération de vitesse vers 3,03 secondes (données de vitesse grisée), la vitesse passant de 40 cm/s à 175 cm/s en un dixième de seconde, puis des coordonnées (x,y) aberrantes (en caractère gras) vers 3,15 secondes, engendrant des mesures de vitesse très rapides, de l'ordre de 230 cm/s :

1	2	3	4	5	6	7
Temps initialisé en s	Temps en ms	Abscisse	Ordonnée	Distance depuis le dernier point	Distance totale	Vitesse depuis le dernier point en cm/s
0,684	-1121066908	2110	4035	0	0	0
0,697333	-1121066895	2109	4040	5,099019514	5,099019514	1,434135092
0,710666	-1121066882	2111	4045	5,385164807	10,48418432	1,514615467
0,723999	-1121066868	2118	4054	11,40175425	21,88593857	3,206823554
0,737332	-1121066855	2132	4071	22,02271555	43,90865412	6,194043598
0,750665	-1121066842	2152	4090	27,58622845	71,49488257	7,758820722
0,763998	-1121066828	2176	4109	30,61045573	102,1053383	8,609405909
0,777331	-1121066815	2203	4126	31,90611227	134,0114506	8,973818421
0,790664	-1121066802	2236	4142	36,67424164	170,6856922	10,31488833
0,803997	-1121066789	2266	4154	32,31098884	202,996681	9,087692804
0,81733	-1121066775	2304	4161	38,63935817	241,6360392	10,86759118
0,830663	-1121066762	2350	4165	46,17358552	287,8096247	12,98664559
0,843996	-1121066748	2398	4164	48,01041554	335,8200403	13,50326695
0,857329	-1121066735	2450	4159	52,23983155	388,0598718	14,69281994
0,870662	-1121066722	2506	4150	56,71860365	444,7784755	15,95250609
0,883995	-1121066708	2564	4133	60,44005295	505,2185284	16,99918987
0,897328	-1121066695	2628	4103	70,68238819	575,9009166	19,87991868
0,910661	-1121066682	2684	4068	66,03786792	641,9387845	18,57361469
0,923994	-1121066668	2741	4019	75,16648189	717,1052664	21,14110156
0,937327	-1121066655	2780	3965	66,61080993	783,7160764	18,73475866
0,95066	-1121066642	2794	3920	47,12748667	830,843563	13,254937
0,963993	-1121066628	2797	3888	32,14031736	862,9838804	9,03969025
0,977326	-1121066615	2791	3865	23,76972865	886,753609	6,685403317
0,990659	-1121066602	2782	3846	21,02379604	907,7774051	5,913090464
1,003992	-1121066588	2773	3837	12,72792206	920,5053271	3,579817575
1,017325	-1121066575	2771	3838	2,236067977	922,7413951	0,628909841
1,030658	-1121066562	2768	3849	11,40175425	934,1431494	3,206823554
1,043991	-1121066549	2766	3867	18,11077028	952,2539196	5,093781485
1,057324	-1121066535	2768	3912	45,04442252	997,2983422	12,66906056
1,070657	-1121066522	2777	3985	73,55270219	1070,851044	20,68721467
1,08399	-1121066509	2790	4064	80,0624756	1150,91352	22,51813422
1,097323	-1121066495	2817	4142	82,54089895	1233,454419	23,21520821
1,110656	-1121066482	2854	4211	78,29431652	1311,748735	22,02082704
1,123989	-1121066469	2895	4273	74,33034374	1386,079079	20,90593182
1,137322	-1121066455	2934	4327	66,61080993	1452,689889	18,73475866
1,150655	-1121066442	2972	4375	61,22091146	1513,910801	17,21881182
1,163988	-1121066429	3010	4409	50,99019514	1564,900996	14,34135092
1,177321	-1121066415	3041	4434	39,8246155	1604,725611	11,20095313
1,190654	-1121066402	3070	4448	32,20248438	1636,928096	9,05717516
1,203987	-1121066389	3095	4451	25,17935662	1662,107452	7,081871097
1,21732	-1121066375	3115	4448	20,22374842	1682,331201	5,688071444
1,230653	-1121066362	3132	4441	18,38477631	1700,715977	5,170847609
1,243986	-1121066349	3149	4436	17,72004515	1718,436022	4,983887295
1,257319	-1121066335	3167	4433	18,24828759	1736,68431	5,132459196
1,270652	-1121066322	3190	4431	23,08679276	1759,771102	6,493322797
1,283985	-1121066308	3222	4433	32,06243908	1791,833542	9,017786437
1,297318	-1121066295	3259	4439	37,48332963	1829,316871	10,54245002

1,310651	-1121066282	3297	4458	42,48529157	1871,802163	11,94928699
1,323984	-1121066268	3335	4492	50,99019514	1922,792358	14,34135092
1,337317	-1121066255	3368	4546	63,28506933	1986,077427	17,79937073
1,35065	-1121066242	3395	4610	69,46221995	2055,539647	19,53673778
1,363983	-1121066228	3418	4679	72,73238618	2128,272033	20,45649503
1,377316	-1121066215	3429	4748	69,87131028	2198,143344	19,65179731
1,390649	-1121066202	3432	4806	58,07753438	2256,220878	16,33471491
1,403982	-1121066188	3421	4853	48,27007354	2304,490952	13,57629759
1,417315	-1121066175	3399	4884	38,01315562	2342,504107	10,6914673
1,430648	-1121066162	3372	4904	33,60059523	2376,104702	9,450403669
1,443981	-1121066148	3330	4920	44,94441011	2421,049112	12,64093137
1,457314	-1121066135	3272	4927	58,42088668	2479,469999	16,43128516
1,470647	-1121066122	3215	4923	57,14017851	2536,610178	16,07107698
1,48398	-1121066108	3168	4904	50,69516742	2587,305345	14,2583723
1,497313	-1121066095	3137	4872	44,55333882	2631,858684	12,53093982
1,510646	-1121066082	3120	4837	38,91015292	2670,768837	10,9437541
1,523979	-1121066068	3118	4802	35,05709629	2705,825933	9,860054832
1,537312	-1121066055	3130	4771	33,24154028	2739,067473	9,349416938
1,550645	-1121066042	3154	4747	33,9411255	2773,008599	9,546180201
1,563978	-1121066028	3198	4728	47,92702787	2820,935627	13,47981358
1,577311	-1121066015	3257	4724	59,13543777	2880,071065	16,63225768
1,590644	-1121066002	3324	4740	68,8839604	2948,955025	19,37409821
1,603977	-1121065988	3388	4780	75,47184906	3024,426874	21,22698822
1,61731	-1121065975	3448	4841	85,5628424	3109,989716	24,06515105
1,630643	-1121065962	3500	4922	96,25487001	3206,244586	27,072359
1,643976	-1121065948	3539	5021	106,4048871	3312,649473	29,92712268
1,657309	-1121065935	3559	5130	110,8196733	3423,469147	31,16881235
1,670642	-1121065922	3559	5232	102	3525,469147	28,68821721
1,683975	-1121065908	3540	5331	100,8067458	3626,275893	28,35260607
1,697308	-1121065895	3496	5430	108,3374358	3734,613328	30,47066559
1,710641	-1121065882	3418	5531	127,6126953	3862,226024	35,89196785
1,723974	-1121065868	3328	5625	130,1383879	3992,364412	36,60233665
1,737307	-1121065855	3236	5696	116,211015	4108,575427	32,68516509
1,75064	-1121065842	3154	5738	92,13034245	4200,705769	25,91230662
1,763973	-1121065828	3085	5754	70,83078427	4271,536553	19,92165612
1,777306	-1121065815	3036	5744	50,009999	4321,546552	14,06566386
1,790639	-1121065802	3006	5719	39,05124838	4360,597801	10,98343819
1,803972	-1121065788	2988	5684	39,35733731	4399,955138	11,06952786
1,817305	-1121065775	2979	5638	46,87216658	4446,827305	13,18312643
1,830638	-1121065762	2990	5581	58,05170109	4504,879006	16,32744912
1,843971	-1121065748	3009	5519	64,84597135	4569,724977	18,2383854
1,857304	-1121065735	3035	5461	63,56099433	4633,285971	17,87697658
1,870637	-1121065722	3047	5424	38,89730068	4672,183272	10,94013932
1,88397	-1121065708	3044	5416	8,544003745	4680,727276	2,40306113
1,897303	-1121065695	3038	5417	6,08276253	4686,810038	1,710819732
1,910636	-1121065682	3029	5420	9,486832981	4696,296871	2,668238482
1,923969	-1121065668	3014	5429	17,49285568	4713,789727	4,919988661
1,937302	-1121065655	2988	5448	32,20248438	4745,992211	9,05717516
1,950635	-1121065642	2927	5497	78,24321057	4824,235422	22,00645313
1,963968	-1121065629	2832	5575	122,9186723	4947,154094	34,57174088
1,977301	-1121065615	2728	5665	137,53545	5084,689544	38,68281238
1,990634	-1121065602	2621	5752	137,9057649	5222,595309	38,78696606
2,003967	-1121065589	2521	5821	121,4948559	5344,090165	34,17128249
2,0173	-1121065575	2438	5861	92,13576938	5436,225934	25,91383299
2,030633	-1121065562	2376	5865	62,12889827	5498,354833	17,47418949
2,043966	-1121065549	2325	5842	55,94640292	5554,301236	15,73531921
2,057299	-1121065535	2283	5803	57,31491952	5611,616155	16,12022412
2,070632	-1121065522	2253	5753	58,30951895	5669,925674	16,3999622
2,083965	-1121065509	2236	5691	64,28841264	5734,214087	18,08156809
2,097298	-1121065495	2233	5613	78,05767099	5812,271758	21,95426882
2,110631	-1121065482	2246	5518	95,8853482	5908,157106	26,96842839
2,123964	-1121065469	2280	5411	112,2719912	6020,429097	31,57728695
2,137297	-1121065455	2322	5311	108,4619749	6128,891072	30,50569308
2,15063	-1121065442	2349	5243	73,1641989	6202,055271	20,57794539
2,163963	-1121065429	2351	5223	20,09975124	6222,155022	5,653196367

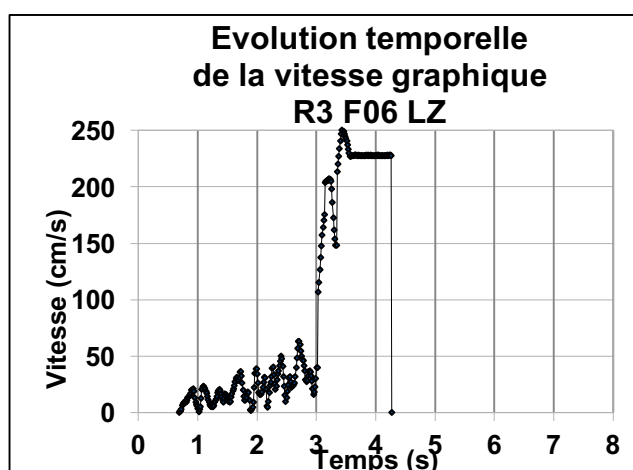
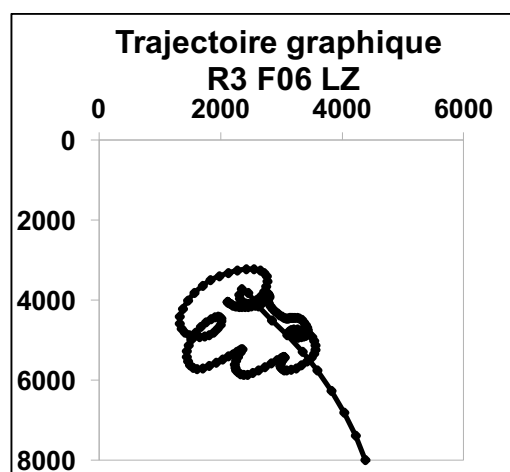
2,177296	-1121065415	2337	5230	15,65247584	6237,807498	4,40236889
2,190629	-1121065402	2307	5249	35,51056181	6273,31806	9,987595199
2,203962	-1121065389	2258	5289	63,2534584	6336,571518	17,79047994
2,217295	-1121065375	2193	5344	85,14693183	6421,71845	23,94817328
2,230628	-1121065362	2121	5405	94,36630755	6516,084757	26,54118753
2,243961	-1121065349	2032	5475	113,2298547	6629,314612	31,84669281
2,257294	-1121065335	1921	5558	138,6001443	6767,914757	38,98226514
2,270627	-1121065322	1805	5641	142,6359001	6910,550657	40,11734984
2,28396	-1121065309	1700	5698	119,4738465	7030,024503	33,6028594
2,297293	-1121065295	1611	5718	91,21951546	7121,244019	25,65613013
2,310626	-1121065282	1543	5691	73,1641989	7194,408217	20,57794539
2,323959	-1121065269	1492	5626	82,61961026	7277,027828	23,23734632
2,337292	-1121065255	1457	5528	104,0624812	7381,090309	29,26830455
2,350625	-1121065242	1442	5408	120,9338662	7502,024175	34,01350021
2,363958	-1121065229	1445	5276	132,0340865	7634,058262	37,13551522
2,377291	-1121065215	1471	5131	147,3125928	7781,370855	41,43270254
2,390624	-1121065202	1518	4976	161,9691329	7943,339987	45,55495749
2,403957	-1121065189	1590	4813	178,1937148	8121,533702	50,11823525
2,41729	-1121065175	1675	4666	169,8057714	8291,339474	47,75906718
2,430623	-1121065162	1760	4549	144,6167349	8435,956208	40,67447354
2,443956	-1121065149	1838	4466	113,8990781	8549,855287	32,0349166
2,457289	-1121065135	1906	4417	83,81527307	8633,67056	23,57363489
2,470622	-1121065122	1960	4403	55,78530272	8689,455862	15,69000864
2,483955	-1121065109	1992	4416	34,53983208	8723,995694	9,714570636
2,497288	-1121065095	2009	4459	46,23851209	8770,234207	13,00490665
2,510621	-1121065082	2011	4525	66,03029608	8836,264503	18,57148506
2,523954	-1121065069	1993	4611	87,86353055	8924,128033	24,71223577
2,537287	-1121065055	1944	4709	109,5673309	9033,695364	30,81658223
2,55062	-1121065042	1880	4802	112,8937554	9146,589119	31,7521625
2,563953	-1121065029	1805	4864	97,30878686	9243,897906	27,36878052
2,577286	-1121065015	1733	4897	79,20227269	9323,100179	22,2761961
2,590619	-1121065002	1651	4911	83,18653737	9406,286716	23,39679856
2,603952	-1121064989	1566	4905	85,21150157	9491,498218	23,96633398
2,617285	-1121064975	1482	4874	89,53770156	9581,035919	25,18310814
2,630618	-1121064962	1411	4813	93,60555539	9674,641475	26,32722063
2,643951	-1121064949	1353	4715	113,8771268	9788,518602	32,02874262
2,657284	-1121064935	1322	4577	141,4390328	9929,957634	39,78072249
2,670617	-1121064922	1327	4405	172,0726591	10102,03029	48,39664528
2,68395	-1121064909	1374	4209	201,5564437	10303,58674	56,68916702
2,697283	-1121064895	1458	4002	223,3942703	10526,98101	62,8312093
2,710616	-1121064882	1569	3808	223,5106261	10750,49163	62,8639352
2,723949	-1121064869	1698	3638	213,4033739	10963,89501	60,02119944
2,737282	-1121064855	1834	3499	194,4659353	11158,36094	54,69491168
2,750615	-1121064842	1975	3391	177,6091214	11335,97006	49,95381424
2,763948	-1121064829	2121	3310	166,964068	11502,93413	46,95981812
2,777281	-1121064815	2273	3252	162,6898891	11665,62402	45,75767524
2,790614	-1121064802	2417	3219	147,732867	11813,35689	41,55090762
2,803947	-1121064789	2548	3215	131,0610545	11944,41794	36,86184312
2,81728	-1121064775	2646	3245	102,4890238	12046,90697	28,82575859
2,830613	-1121064762	2717	3310	96,26006441	12143,16703	27,07381996
2,843946	-1121064749	2758	3403	101,6366076	12244,80364	28,58601053
2,857279	-1121064735	2765	3519	116,211015	12361,01465	32,68516509
2,870612	-1121064722	2748	3648	130,1153335	12491,12999	36,59585243
2,883945	-1121064709	2713	3775	131,7345816	12622,86457	37,05127737
2,897278	-1121064695	2659	3890	127,0472353	12749,9118	35,73292825
2,910611	-1121064682	2592	3984	115,4339638	12865,34577	32,46661399
2,923944	-1121064669	2520	4051	98,35141077	12963,69718	27,66202583
2,937277	-1121064655	2451	4082	75,6439026	13039,34108	21,27537949
2,95061	-1121064642	2394	4076	57,31491952	13096,656	16,12022412
2,963943	-1121064629	2344	4035	64,66065264	13161,31665	18,18626321
2,977276	-1121064615	2310	3961	81,43709229	13242,75375	22,90475482
2,990609	-1121064602	2304	3854	107,1680923	13349,92184	30,14177949
3,003942	-1121064589	2345	3718	142,0457673	13491,96761	39,95137083
3,017275	-1121064575	2450	3814	142,2708684	13634,23847	40,01468211
3,030608	-1121064562	2617	4155	379,6972478	14013,93572	106,7925208

3,043941	-1121064549	2837	4501	410,0195117	14423,95523	115,3208707
3,057274	-1121064535	3089	4873	449,3194854	14873,27472	126,3742646
3,070607	-1121064522	3348	5288	489,189125	15362,46384	137,5878811
3,08394	-1121064509	3592	5753	525,1295078	15887,59335	147,6963665
3,097273	-1121064495	3823	6262	558,9651152	16446,55847	157,212869
3,110606	-1121064482	4035	6806	583,8492956	17030,40776	164,2117197
3,123939	-1121064468	4223	7382	605,9042829	17636,31205	170,4148399
3,137272	-1121064455	4375	7987	623,8020519	18260,1141	175,4487133
3,150605	-1121064442	4735	8616	724,735124	18984,84922	203,8368496
3,163938	-1121064428	5049	9273	728,1792362	19713,02846	204,8055303
3,177271	-1121064415	5320	9952	731,0827587	20444,11122	205,6221664
3,190604	-1121064402	5550	10645	730,170528	21174,28174	205,3655951
3,203937	-1121064388	5747	11352	733,9332395	21908,21498	206,4238842
3,21727	-1121064375	5910	12070	736,2696517	22644,48464	207,0810166
3,230603	-1121064362	6039	12792	733,4337053	23377,91834	206,2833867
3,243936	-1121064348	6150	13511	727,5176974	24105,43604	204,6194679
3,257269	-1121064335	6260	14207	704,6389146	24810,07495	198,1846494
3,270602	-1121064322	6395	14855	661,9131363	25471,98809	186,1677238
3,283935	-1121064308	6564	15444	612,7658607	26084,75395	172,3447069
3,297268	-1121064295	6779	15978	575,6570159	26660,41097	161,9075834
3,310601	-1121064282	7028	16465	546,9643498	27207,37532	153,8375693
3,323934	-1121064268	7305	16914	527,5699006	27734,94522	148,3827441
3,337267	-1121064255	7631	17327	526,1606219	28261,10584	147,9863746
3,3506	-1121064242	8008	17984	757,4813529	29018,58719	213,0469567
3,363933	-1121064228	8419	18651	783,4602734	29802,04746	220,3537107
3,377266	-1121064215	8841	19339	807,110897	30609,15836	227,0056149
3,390599	-1121064202	9256	20060	831,9050427	31441,0634	233,9791427
3,403932	-1121064188	9642	20824	855,9742987	32297,0377	240,7487902
3,417265	-1121064175	10002	21623	876,3566626	33173,39436	246,4814734
3,430598	-1121064162	10337	22446	888,5685117	34061,96288	249,9161418
3,443931	-1121064148	10646	23280	889,4026085	34951,36548	250,1507374
3,457264	-1121064135	10929	24119	885,4433918	35836,80888	249,0371799
3,470597	-1121064122	11191	24957	878,0022779	36714,81115	246,9443143
3,48393	-1121064108	11438	25791	869,80745	37584,6186	244,6394613
3,497263	-1121064095	11673	26621	862,6268023	38447,24541	242,6198536
3,510596	-1121064082	11898	27446	855,1315688	39302,37698	240,5117665
3,523929	-1121064068	12108	28262	842,5888677	40144,96584	236,9840436
3,537262	-1121064055	12325	29063	829,8734843	40974,83933	233,4077527
3,550595	-1121064042	12551	29848	816,8849368	41791,72426	229,7546323
3,563928	-1121064028	12790	30619	807,1939048	42598,91817	227,0289615
3,577261	-1121064015	13047	31384	807,0154893	43405,93366	226,9787808
3,590594	-1121064002	13304	32151	808,9116145	44214,84527	227,5120794
3,603927	-1121063988	13562	32917	808,282129	45023,1274	227,3350321
3,61726	-1121063975	13819	33684	808,9116145	45832,03902	227,5120794
3,630593	-1121063962	14077	34451	809,2298808	46641,2689	227,601594
3,643926	-1121063948	14334	35219	809,8598644	47451,12876	227,7787813
3,657259	-1121063935	14593	35987	810,4967613	48261,62552	227,957913
3,670592	-1121063922	14850	36756	810,8082387	49072,43376	228,0455183
3,683925	-1121063908	15105	37524	809,2274093	49881,66117	227,6008989
3,697258	-1121063895	15358	38292	808,5994064	50690,26058	227,4242687
3,710591	-1121063882	15611	39062	810,4992289	51500,75981	227,9586071
3,723924	-1121063868	15866	39830	809,2274093	52309,98722	227,6008989
3,737257	-1121063855	16122	40598	809,543081	53119,5303	227,6896838
3,75059	-1121063842	16378	41366	809,543081	53929,07338	227,6896838
3,763923	-1121063828	16634	42134	809,543081	54738,61646	227,6896838
3,777256	-1121063815	16890	42902	809,543081	55548,15954	227,6896838
3,790589	-1121063802	17146	43670	809,543081	56357,70262	227,6896838
3,803922	-1121063788	17402	44438	809,543081	57167,2457	227,6896838
3,817255	-1121063775	17658	45206	809,543081	57976,78878	227,6896838
3,830588	-1121063762	17914	45974	809,543081	58786,33186	227,6896838
3,843921	-1121063748	18170	46743	810,491826	59596,82369	227,956525
3,857254	-1121063735	18426	47510	808,5944595	60405,41815	227,4228773
3,870587	-1121063722	18681	48279	810,176524	61215,59467	227,8678441
3,88392	-1121063708	18938	49046	808,9116145	62024,50629	227,5120794
3,897253	-1121063695	19193	49814	809,2274093	62833,7337	227,6008989

3,910586	-1121063682	19450	50582	809,8598644	63643,59356	227,7787813
3,923919	-1121063668	19706	51350	809,543081	64453,13664	227,6896838
3,937252	-1121063655	19962	52118	809,543081	65262,67972	227,6896838
3,950585	-1121063642	20218	52886	809,543081	66072,2228	227,6896838
3,963918	-1121063628	20475	53653	808,9116145	66881,13442	227,5120794
3,977251	-1121063615	20731	54421	809,543081	67690,6775	227,6896838
3,990584	-1121063602	20986	55189	809,2274093	68499,90491	227,6008989
4,003917	-1121063588	21242	55957	809,543081	69309,44799	227,6896838
4,01725	-1121063575	21498	56726	810,491826	70119,93982	227,956525
4,030583	-1121063562	21754	57494	809,543081	70929,4829	227,6896838
4,043916	-1121063548	22011	58263	810,8082387	71740,29114	228,0455183
4,057249	-1121063535	22267	59031	809,543081	72549,83422	227,6896838
4,070582	-1121063522	22523	59799	809,543081	73359,3773	227,6896838
4,083915	-1121063508	22778	60567	809,2274093	74168,60471	227,6008989
4,097248	-1121063495	23034	61335	809,543081	74978,14779	227,6896838
4,110581	-1121063482	23290	62103	809,543081	75787,69087	227,6896838
4,123914	-1121063468	23546	62870	808,5944595	76596,28533	227,4228773
4,137247	-1121063455	23802	63637	808,5944595	77404,87979	227,4228773
4,15058	-1121063442	24058	64405	809,543081	78214,42287	227,6896838
4,163913	-1121063428	24314	65173	809,543081	79023,96595	227,6896838
4,177246	-1121063415	24570	65940	808,5944595	79832,56041	227,4228773
4,190579	-1121063402	24826	66709	810,491826	80643,05224	227,956525
4,203912	-1121063388	25082	67477	809,543081	81452,59532	227,6896838
4,217245	-1121063375	25337	68245	809,2274093	82261,82273	227,6008989
4,230578	-1121063362	25593	69014	810,491826	83072,31455	227,956525
4,243911	-1121063348	25847	69783	809,862334	83882,17689	227,7794759
4,257244	-1121063335	26096	70552	808,3081096	84690,485	227,3423394
4,270577				75223,5729	159914,0579	0

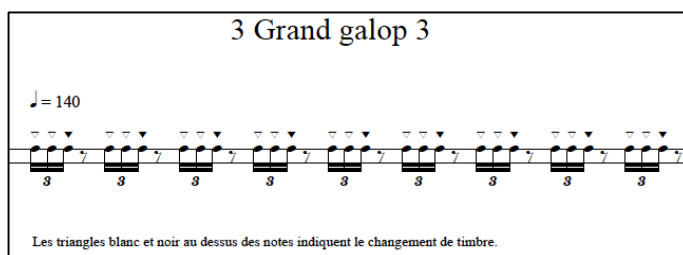
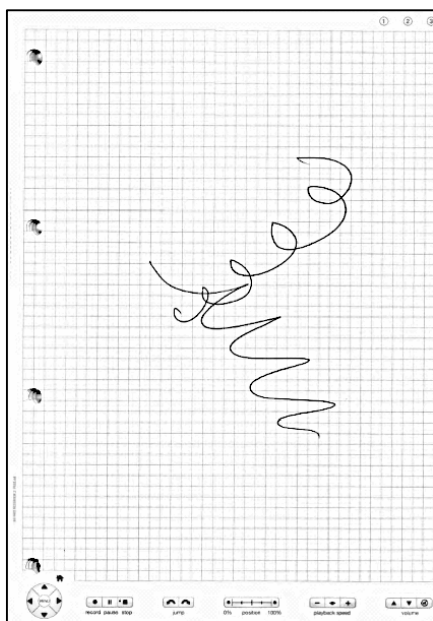
Tableau 58: Feuille de calcul Excel de la vitesse graphique de l'enfant R3F06LZ

Le tableau Excel permet également de visualiser l'erreur d'encodage des coordonnées d'une part, avec une trajectoire graphique tronquée en comparaison de la production initiale (Cf. supra), qui sort du cadre de l'espace de traçage du cahier et d'autre part, avec une rupture dans la courbe de profil de vitesse vers 3 secondes :



Cas R3F04CKB

Production graphique conservée sur papier et scannée :



Exemple musical 66: Rythme 3 « Grand galop »

Le problème de coordonnées suit la même chronologie que dans le cas précédent, les vitesses graphiques atteignant cette fois près de 1000 cm/s :

Temps initialisé en s	Temps en ms	Abscisse	Ordonnée	Distance depuis le dernier point	Distance totale	Vitesse depuis le dernier point en cm/s
0,164	-1542846488	2794	4308	0	0	0
0,177333	-1542846475	2791	4294	14,31782106	14,31782106	4,026987849
0,190666	-1542846462	2786	4280	14,86606875	29,18388981	4,181186365
0,203999	-1542846448	2776	4266	17,20465053	46,38854034	4,838928936
0,217332	-1542846435	2758	4253	22,20360331	68,59214366	6,244919554
0,230665	-1542846422	2738	4242	22,82542442	91,41756808	6,419811114
0,243998	-1542846408	2727	4238	11,70469991	103,122268	3,292029151
0,257331	-1542846395	2723	4239	4,123105626	107,2453736	1,159652449
0,270664	-1542846382	2721	4242	3,605551275	110,8509249	1,014086648
0,283997	-1542846369	2721	4248	6	116,8509249	1,687542189
0,29733	-1542846355	2718	4268	20,22374842	137,0746733	5,688071444
0,310663	-1542846342	2717	4301	33,01514804	170,0898213	9,285742529
0,323996	-1542846328	2721	4335	34,23448554	204,3243069	9,628689775
0,337329	-1542846315	2737	4367	35,77708764	240,1013945	10,06255746
0,350662	-1542846302	2763	4388	33,42154993	273,5229445	9,40004592
0,363995	-1542846288	2798	4404	38,48376281	312,0067073	10,82382889
0,377328	-1542846275	2840	4410	42,42640687	354,4331141	11,93272525
0,390661	-1542846262	2887	4403	47,51841748	401,9515316	13,36488904
0,403994	-1542846248	2935	4382	52,39274759	454,3442792	14,73582866
0,417327	-1542846235	2984	4351	57,98275606	512,3270353	16,30805784
0,43066	-1542846222	3020	4314	51,623638	563,9506733	14,51951117
0,443993	-1542846208	3059	4271	58,05170109	622,0023744	16,32744912
0,457326	-1542846195	3088	4229	51,03920062	673,041575	14,35513405
0,470659	-1542846182	3113	4175	59,50630219	732,5478772	16,7365659
0,483992	-1542846168	3134	4119	59,80802622	792,3559034	16,82142791
0,497325	-1542846155	3143	4069	50,80354318	843,1594466	14,28885374
0,510658	-1542846142	3139	4031	38,20994635	881,3693929	10,74681608

0,523991	-1542846129	3124	4001	33,54101966	914,9104126	9,433647621
0,537324	-1542846115	3108	3981	25,61249695	940,5229095	7,203694859
0,550657	-1542846102	3089	3971	21,47091055	961,9938201	6,038844564
0,563399	-1542846089	3078	3971	11	972,9938201	3,093827346
0,577323	-1542846075	3070	3975	8,94427191	981,938092	2,515639366
0,590656	-1542846062	3071	3977	2,236067977	984,17416	0,628909841
0,603989	-1542846049	3071	3979	2	986,17416	0,562514063
0,617322	-1542846035	3071	3988	9	995,17416	2,531313283
0,630655	-1542846022	3069	4017	29,06888371	1024,243044	8,175827938
0,643988	-1542846009	3067	4061	44,04543109	1068,288475	12,3880872
0,657321	-1542845995	3077	4101	41,23105626	1109,519531	11,59652449
0,670654	-1542845982	3096	4135	38,94868419	1148,468215	10,95459129
0,683987	-1542845969	3132	4162	45	1193,468215	12,65656641
0,69732	-1542845955	3188	4180	58,82176468	1252,28998	16,54403492
0,710653	-1542845942	3257	4189	69,58448103	1321,874461	19,57112457
0,723986	-1542845929	3341	4182	84,29116205	1406,165623	23,70748201
0,737319	-1542845915	3427	4161	88,52683209	1494,692455	24,898794
0,750652	-1542845902	3507	4135	84,11896338	1578,811418	23,65904993
0,763985	-1542845888	3571	4107	69,85699679	1648,668415	19,64777154
0,777318	-1542845875	3619	4073	58,82176468	1707,49018	16,54403492
0,790651	-1542845862	3653	4035	50,99019514	1758,480375	14,34135092
0,803984	-1542845848	3676	3989	51,42956348	1809,909939	14,46492635
0,817317	-1542845835	3683	3936	53,46026562	1863,370204	15,03607561
0,83065	-1542845822	3684	3879	57,00877125	1920,378975	16,03411777
0,843983	-1542845808	3667	3815	66,21933252	1986,598308	18,62465289
0,857316	-1542845795	3635	3757	66,24198065	2052,840289	18,63102283
0,870649	-1542845782	3589	3708	67,2086304	2120,048919	18,90289987
0,883982	-1542845768	3537	3669	65	2185,048919	18,28170704
0,897315	-1542845755	3482	3642	61,26989473	2246,318814	17,23258871
0,910648	-1542845742	3439	3632	44,14748011	2290,466294	12,4167892
0,923981	-1542845728	3423	3630	16,1245155	2306,590809	4,535133362
0,937314	-1542845715	3421	3633	3,605551275	2310,196361	1,014086648
0,950647	-1542845702	3423	3636	3,605551275	2313,801912	1,014086648
0,96398	-1542845688	3425	3646	10,19803903	2323,999951	2,868270183
0,977313	-1542845675	3428	3677	31,144823	2355,144774	8,759700463
0,990646	-1542845662	3437	3721	44,91102315	2400,055797	12,63154105
1,003979	-1542845648	3458	3757	41,67733197	2441,733129	11,72204267
1,017312	-1542845635	3500	3790	53,41348144	2495,14661	15,02291723
1,030645	-1542845622	3560	3813	64,25729531	2559,403906	18,07281613
1,043978	-1542845608	3645	3825	85,84287973	2645,246785	24,14391352
1,057311	-1542845595	3753	3811	108,9036271	2754,150413	30,62991088
1,070644	-1542845582	3873	3774	125,574679	2879,725092	35,31876143
1,083977	-1542845568	3996	3717	135,5654823	3015,290574	38,12874512
1,09731	-1542845555	4102	3647	127,0275561	3142,31813	35,72739333
1,110643	-1542845542	4184	3569	113,1724348	3255,490565	31,83054305
1,123976	-1542845528	4234	3490	93,49331527	3348,98388	26,29565231
1,137309	-1542845515	4254	3416	76,65507159	3425,638952	21,55977788
1,150642	-1542845502	4247	3355	61,40032573	3487,039277	17,26927334
1,163975	-1542845488	4219	3303	59,05929224	3546,09857	16,61084121
1,177308	-1542845475	4177	3252	66,06814664	3612,166716	18,58213079
1,190641	-1542845462	4120	3206	73,24616031	3685,412877	20,60099761
1,203974	-1542845448	4056	3175	71,11258679	3756,525463	20,00091506
1,217307	-1542845435	3997	3157	61,68468205	3818,210145	17,34925056
1,23064	-1542845422	3955	3150	42,57933771	3860,789483	11,97573812
1,243973	-1542845408	3940	3150	15	3875,789483	4,218855471
1,257306	-1542845395	3941	3155	5,099019514	3880,888503	1,434135092
1,270639	-1542845382	3943	3159	4,472135955	3885,360639	1,257819683
1,283972	-1542845368	3946	3168	9,486832981	3894,847472	2,668238482
1,297305	-1542845355	3942	3212	44,18144407	3939,028916	12,4263418
1,310638	-1542845342	3942	3284	72	4011,028916	20,25050626
1,323971	-1542845328	3953	3345	61,98386887	4073,012784	17,43339895
1,337304	-1542845315	3975	3401	60,16643583	4133,17922	16,92223313
1,350637	-1542845302	4009	3447	57,20139858	4190,380619	16,08829556
1,36397	-1542845288	4063	3477	61,77378085	4252,1544	17,37431022
1,377303	-1542845275	4137	3491	75,31268154	4327,467081	21,18222124

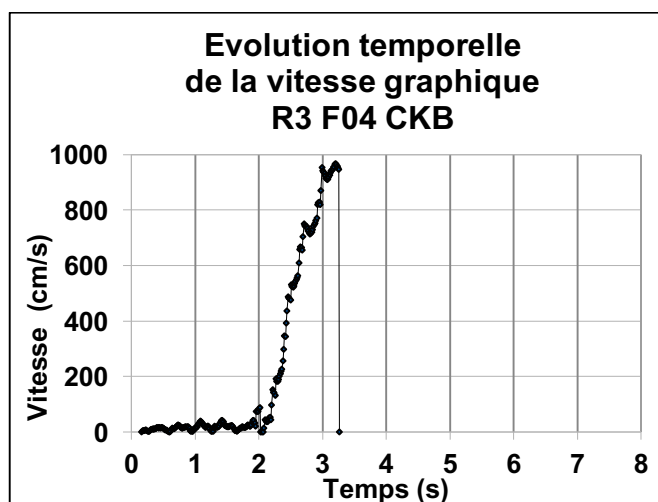
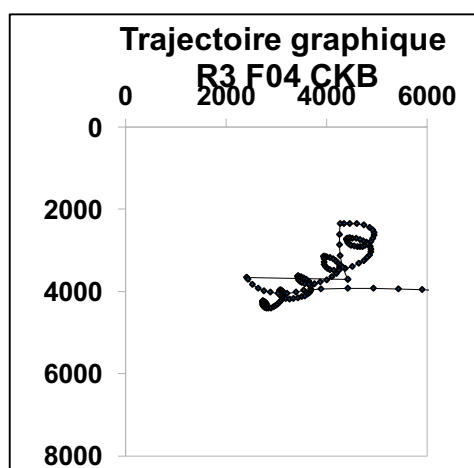
1,390636	-1542845262	4240	3485	103,1746093	4430,641691	29,01858432
1,403969	-1542845248	4365	3450	129,8075499	4560,44924	36,50928613
1,417302	-1542845235	4503	3393	149,3084057	4709,757646	41,99403894
1,430635	-1542845222	4631	3324	145,4132044	4855,17085	40,89848619
1,443968	-1542845209	4733	3249	126,6056871	4981,776538	35,60873971
1,457301	-1542845195	4802	3178	99,00505038	5080,781588	27,84586656
1,470634	-1542845182	4848	3111	81,27115109	5162,052739	22,8580827
1,483967	-1542845169	4873	3044	71,51223672	5233,564976	20,11331941
1,4973	-1542845155	4877	2975	69,11584478	5302,68082	19,43931733
1,510633	-1542845142	4866	2916	60,01666435	5362,697485	16,88010885
1,523966	-1542845129	4837	2860	63,0634601	5425,760945	17,73704158
1,537299	-1542845115	4792	2808	68,76772499	5494,52867	19,34140619
1,550632	-1542845102	4731	2766	74,06078585	5568,589456	20,83011677
1,563965	-1542845089	4656	2735	81,15417426	5649,74363	22,82518214
1,577298	-1542845075	4579	2716	79,30952024	5729,05315	22,30636023
1,590631	-1542845062	4509	2706	70,71067812	5799,763828	19,88787542
1,603964	-1542845049	4460	2702	49,16299421	5848,926823	13,82743781
1,617297	-1542845035	4423	2707	37,33630941	5886,263132	10,50109955
1,63063	-1542845022	4406	2715	18,78829423	5905,051426	5,28433986
1,643963	-1542845009	4397	2725	13,45362405	5918,50505	3,783926361
1,657296	-1542844995	4397	2732	7	5925,50505	1,96879922
1,670629	-1542844982	4396	2749	17,02938637	5942,534437	4,789634656
1,683962	-1542844969	4402	2780	31,57530681	5974,109743	8,880777059
1,697295	-1542844955	4418	2817	40,31128874	6014,421032	11,3378334
1,710628	-1542844942	4446	2851	44,04543109	6058,466463	12,3880872
1,723961	-1542844929	4486	2882	50,60632372	6109,072787	14,23338438
1,737294	-1542844915	4547	2903	64,51356447	6173,586351	18,14489363
1,750627	-1542844902	4612	2914	65,9241989	6239,51055	18,54164448
1,76396	-1542844889	4666	2917	54,08326913	6293,593819	15,21129973
1,777293	-1542844875	4718	2906	53,15072906	6346,744549	14,94901627
1,790626	-1542844862	4767	2884	53,71219601	6400,456745	15,1069328
1,803959	-1542844849	4817	2849	61,03277808	6461,489523	17,16589798
1,817292	-1542844835	4872	2793	78,49203781	6539,98156	22,07643755
1,830625	-1542844822	4918	2718	87,98295289	6627,964513	24,74582415
1,843958	-1542844809	4944	2640	82,21921916	6710,183733	23,12473351
1,857291	-1542844795	4946	2566	74,02702209	6784,210755	20,82062048
1,870624	-1542844782	4916	2500	72,49827584	6856,70903	20,39064985
1,883957	-1542844769	4849	2439	90,60905032	6947,318081	25,48443251
1,89729	-1542844755	4741	2385	120,7476708	7068,065752	33,96113144
1,910623	-1542844742	4599	2355	145,1344205	7213,200172	40,82007625
1,923956	-1542844729	4457	2346	142,2849254	7355,485097	40,01863574
1,937289	-1542844715	4344	2347	113,0044247	7468,489522	31,78328903
1,950622	-1542844702	4268	2351	76,10519036	7544,594712	21,40511992
1,963955	-1542844689	4251	2610	259,5573154	7804,152028	73,00232003
1,977288	-1542844675	4258	2868	258,0949438	8062,246972	72,59101771
1,990621	-1542844662	4268	3132	264,1893261	8326,436298	74,30510558
2,003954	-1542844649	4318	3419	291,322845	8617,759143	81,93659856
2,017287	-1542844635	4419	3709	307,0846789	8924,843822	86,36972518
2,03062	-1542844635	4419	3709	0	8924,843822	0
2,043953				5769,249691	14694,09351	
2,057286	-1542844348	2404	3660	4378,905799	19072,99931	
2,070619	-1542844335	2406	3659	2,236067977	19075,23538	0,628909841
2,083952	-1542844322	2432	3702	50,24937811	19125,48476	14,13299092
2,097285	-1542844308	2524	3826	154,4020725	19279,88683	43,42666856
2,110618	-1542844295	2630	3928	147,1054044	19426,99224	41,37442934
2,123951	-1542844282	2744	3988	128,8254633	19555,8177	36,23306739
2,137284	-1542844268	2870	4025	131,3202193	19687,13792	36,93473505
2,150617	-1542844255	3024	4047	155,5634919	19842,70141	43,75332592
2,16395	-1542844242	3203	4043	179,0446872	20021,7461	50,3575772
2,177283	-1542844229	3385	4012	184,6212339	20206,36733	51,92602018
2,190616	-1542844215	3534	3975	153,5252422	20359,89257	43,18005388
2,203949	-1542844202	3878	3942	345,5792239	20705,4718	97,19658664
2,217282	-1542844188	4416	3930	538,1338124	21243,60561	151,3539186
2,230615	-1542844175	4923	3932	507,0039448	21750,60955	142,5984244
2,243948	-1542844162	5424	3936	501,0159678	22251,62552	140,9142638

2,257281	-1542844148	5894	3952	470,2722616	22721,89778	132,2673803
2,270614	-1542844135	6571	4000	678,6994917	23400,59728	190,8890043
2,283947	-1542844122	7212	4077	645,6082403	24046,20552	181,5818571
2,29728	-1542844108	7853	4168	647,427216	24693,63273	182,0934568
2,310613	-1542844095	8515	4262	668,6404116	25362,27314	188,0598173
2,323946	-1542844082	9224	4337	712,9558191	26075,22896	200,5238372
2,337279	-1542844068	9971	4394	749,1715424	26824,4005	210,7097641
2,350612	-1542844055	10752	4439	782,2953406	27606,69585	220,0260652
2,363945	-1542844042	11558	4476	806,8488086	28413,54465	226,9319007
2,377278	-1542844028	12423	4754	908,5752583	29322,11991	255,54318
2,390611	-1542844015	13355	5258	1059,547073	30381,66699	298,0050644
2,403944	-1542844002	14339	5990	1226,409393	31608,07638	344,9362653
2,417277	-1542843989	15323	6710	1219,285036	32827,36141	342,9324898
2,43061	-1542843975	16509	7442	1393,707286	34221,0687	391,989974
2,443943	-1542843962	17870	8191	1553,487045	35774,55575	436,9291547
2,457276	-1542843949	19420	8958	1729,389777	37503,94552	486,4030348
2,470609	-1542843935	20953	9728	1715,514209	39219,45973	482,5004337
2,483942	-1542843922	22479	10499	1709,712549	40929,17228	480,8686761
2,497275	-1542843909	23975	11284	1689,44991	42618,62219	475,1696666
2,510608	-1542843895	25676	12098	1885,735135	44504,35733	530,3762662
2,523941	-1542843882	27344	12927	1862,649994	46367,00732	523,8834079
2,537274	-1542843869	29006	13756	1857,278924	48224,28624	522,3727566
2,550607	-1542843855	30683	14587	1871,600919	50095,88716	526,4009185
2,56394	-1542843842	32401	15413	1906,252869	52002,14003	536,147023
2,577273	-1542843829	34153	16227	1931,864384	53934,00442	543,3504419
2,590606	-1542843815	35936	17032	1956,301102	55890,30552	550,2234404
2,603939	-1542843802	37739	17837	1974,54653	57864,85205	555,3550955
2,617272	-1542843789	39573	18643	2003,295285	59868,14733	563,440885
2,630605	-1542843775	41463	19702	2166,467401	62034,61473	609,3341899
2,643938	-1542843762	43414	20998	2342,224797	64376,83953	658,7671934
2,657271	-1542843748	45412	22280	2373,926705	66750,76624	667,6835778
2,670604	-1542843735	47402	23557	2364,493392	69115,25963	665,0303922
2,683937	-1542843722	49349	24837	2330,066308	71445,32594	655,3475328
2,69727	-1542843708	51492	26125	2500,278584	73945,60452	703,2209324
2,710603	-1542843695	53829	27416	2669,878274	76615,4828	750,9220377
2,723936	-1542843682	56137	28703	2642,580746	79258,06354	743,244416
2,737269	-1542843668	58437	29987	2634,132874	81892,19642	740,8683926
2,750602	-1542843655	60728	31279	2630,198662	84522,39508	739,7618676
2,763935	-1542843642	62995	32578	2612,793524	87135,1886	734,8665503
2,777268	-1542843628	65221	33881	2579,318708	89714,50731	725,4515231
2,790601	-1542843615	67408	35195	2551,384918	92265,89223	717,5949481
2,803934	-1542843602	69571	36514	2533,442322	94799,33455	712,5484668
2,817267	-1542843588	71738	37843	2542,07199	97341,40654	714,9756214
2,8306	-1542843575	73926	39174	2561,035923	99902,44246	720,3093611
2,843933	-1542843562	76156	40502	2595,473753	102497,9162	729,9952428
2,857266	-1542843548	78432	41826	2633,087921	105131,0041	740,5744922
2,870599	-1542843535	80736	43147	2655,83452	107786,8387	746,9721332
2,883932	-1542843522	83061	44466	2673,085483	110459,9241	751,8240877
2,897265	-1542843508	85426	45787	2708,923402	113168,8475	761,9037545
2,910598	-1542843495	87836	47096	2742,550091	115911,3976	771,361497
2,923931	-1542843482	90299	48645	2909,599629	118820,9973	818,3453542
2,937264	-1542843468	92798	50190	2938,030973	121759,0282	826,3418698
2,950597	-1542843455	95302	51735	2942,284996	124701,3132	827,5383437
2,96393	-1542843442	97771	53283	2914,149104	127615,4623	819,6249261
2,977263	-1542843428	100443	54838	3091,53829	130707,0006	869,5168821
2,990596	-1542843415	103308	56648	3388,853051	134095,8537	953,138749
3,003929	-1542843402	106130	58454	3350,420869	137446,2745	942,3294277
3,017262	-1542843388	108937	60253	3334,014097	140780,2886	937,7149077
3,030595	-1542843375	111718	62061	3317,050648	144097,3393	932,9438183
3,043928	-1542843362	114455	63878	3285,218105	147382,5574	923,9906919
3,057261	-1542843348	117148	65698	3250,330599	150632,888	914,1783353
3,070594	-1542843335	119821	67512	3230,406321	153863,2943	908,5744922
3,083927	-1542843322	122504	69328	3239,806321	157103,1006	911,2183083
3,09726	-1542843308	125213	71146	3262,484483	160365,5851	917,5967007
3,110593	-1542843295	127961	72964	3294,939757	163660,5249	926,7249747

3,123926	-1542843282	130750	74777	3326,483128	166987,008	935,5967696
3,137259	-1542843268	133563	76588	3345,547788	170332,5558	940,9588393
3,150592	-1542843255	136388	78399	3355,643902	173688,1997	943,7984425
3,163925	-1542843242	139231	80211	3371,34884	177059,5485	948,2155666
3,177258	-1542843228	142109	82022	3400,383067	180459,9316	956,381647
3,190591	-1542843215	145023	83827	3427,742843	183887,6744	964,0767766
3,203924	-1542843202	147957	85628	3442,667135	187330,3416	968,2743385
3,217257	-1542843188	150876	87433	3431,994464	190762,336	965,2725748
3,23059	-1542843175	153761	89246	3407,373475	194169,7095	958,3477486
3,243923	-1542843162	156609	91064	3378,790908	197548,5004	950,3087006
3,257256	-1542843148	159434	92888	3362,677653	200911,1781	945,7767344
3,270589				184519,3239	385430,502	0

Tableau 59: Feuille de calcul Excel de la vitesse graphique de l'enfant R3F06LZ

A partir du tableur Excel, on obtient une représentation tronquée de la trajectoire graphique qui sort des limites de la feuille au milieu du traçage, et des résultats de calcul de vitesse aberrants, celle-ci passant de 40 cm/s à près de 1000 cm/s en 1 seconde :



Dans les deux cas, les erreurs de calcul de vitesse se traduisent par une accélération graphique fulgurante. Mais y a-t-il eu réellement une forte accélération graphique du stylo ou les erreurs de coordonnées sont-elles dues à la tenue du stylo ? On a recherché l'existence d'un lien de cause à effet entre l'évolution de la vitesse réelle du traçage et les erreurs de calcul de vitesse afin de pouvoir considérer les productions avec « erreurs de calcul » comme des productions avec une vitesse graphique très élevée ou une accélération fulgurante.

La vérification du lien entre vitesse et accélération réelle du traçage et erreurs de calcul de vitesse s'effectue en comparant les données issues de l'analyse audiovisuelle, durant laquelle la vitesse et l'accélération du graphisme ont été estimées visuellement, et les données numériques qui nous informent des erreurs de calcul. Le graphique suivant permet d'observer le rapport entre le nombre de productions graphiques dont la vitesse est estimée élevée *et* qui présentent une erreur de coordonnées et la totalité des productions graphiques avec erreur de calcul de vitesse, idem concernant l'accélération du graphisme :

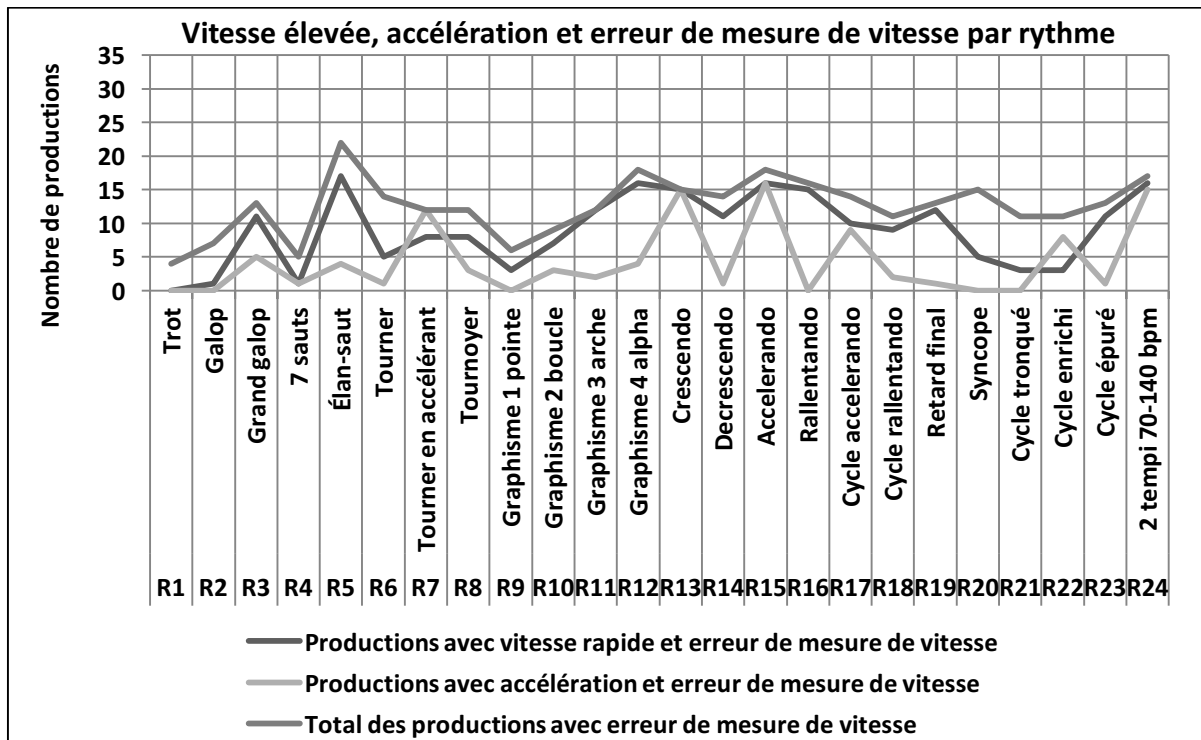


Figure 104: Vitesse élevée, accélération et erreur de mesure de vitesse, par rythme

La proximité et l'évolution similaire des courbes « Productions avec vitesse rapide et erreur de mesure de vitesse » et « Total des productions avec erreur de mesure de vitesse » indiquent que la célérité graphique réelle est fortement liée au problème de calcul de vitesse et en est la cause probable dans la majorité des cas, excepté en fin d'expérience. L'accélération graphique réelle durant les productions est également source de problème d'enregistrement des coordonnées et donc cause d'erreur de calcul de vitesse, mais ce, dans une moindre mesure que la vitesse élevée du stylo et plus spécifiquement sur quelques rythmes. Dans trois cas (R6 Tourner, R20 Syncope, R21 Cycle tronqué), on ne peut attribuer les erreurs de calcul de vitesse ni à la vitesse, ni à l'accélération du graphisme. Il est probable que la tenue du stylo soit une cause d'erreur d'enregistrement des coordonnées. Les à-coups donnés par l'enfant pour synchroniser son geste graphique aux irrégularités de structure des rythmes R20 et R21 peuvent également avoir faussé l'enregistrement des coordonnées.

Ayant constaté généralement⁶ des liens de cause à effet entre vitesse élevée et accélération fulgurante réelle des productions graphiques et erreurs de coordonnées (x,y), donc erreur de calcul de vitesse, nous pouvons étudier les liens éventuels entre ces productions graphiques et les propriétés rythmiques.

⁶ En dehors des représentations avec coordonnées aberrantes relevées sur R6 Tourner, R20 Syncope, R21 Cycle tronqué.

5.2.4.2 Vitesse élevée et forte accélération graphiques selon les rythmes

La vitesse élevée et la forte accélération graphique sont-elles liées aux propriétés d'intensité et de durées des rythmes ? Les erreurs de calcul de vitesse se produisent plus souvent sur certains rythmes ce qui laisse supposer leur lien avec des propriétés rythmiques spécifiques.

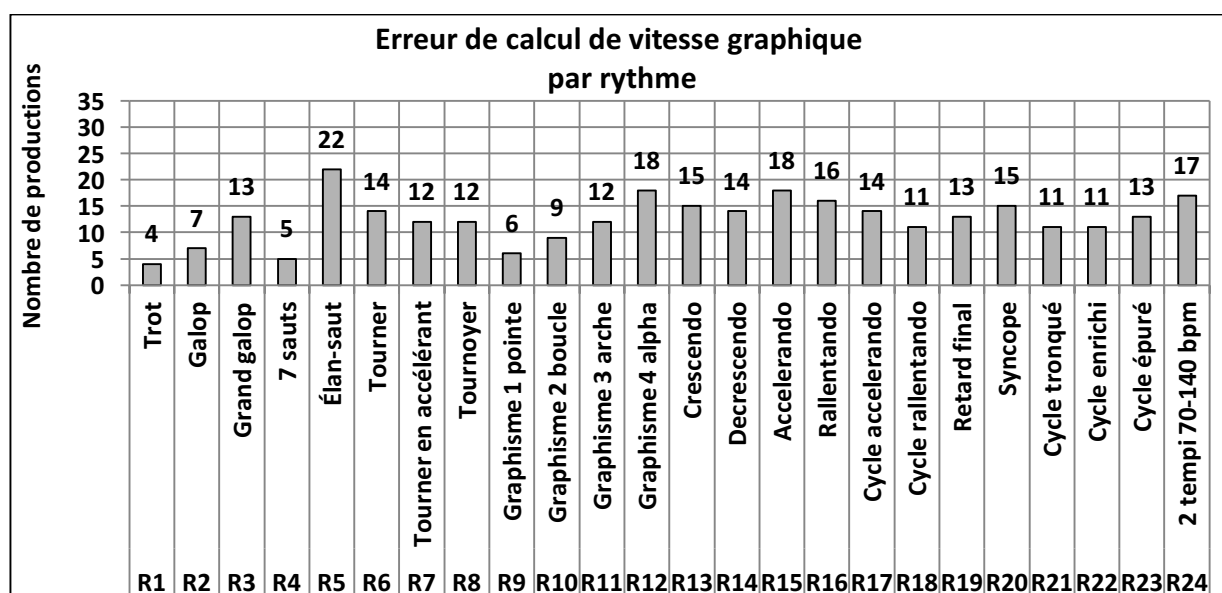


Figure 105: Erreur de calcul de vitesse graphique par rythme

Le nombre de productions avec une grande vitesse ou de fortes accélérations graphiques croît en début de passation, entre R1 Trot et R3 Grand galop. Lors de cette phase d'adaptation et d'apprentissage, la motricité est plus contrôlée, notamment sur le rythme R1 qui a le plus faible taux d'erreur de mesure de vitesse, qui est par ailleurs probablement le moins dynamogène. L'accélération de la vitesse graphique entre les rythmes R1 Trot, R2 Galop et R3 Grand galop est sans doute liée à l'augmentation de la fréquence de frappes et, a contrario, le faible tempo du R4 Sept sauts expliquant de moindres vitesses graphiques.

- **Vitesse élevée ou accélération fulgurante, selon les rythmes**

On différencie deux causes d'erreurs de calcul de vitesse. Elles peuvent provenir d'une vitesse instantanée très élevée ou d'une accélération graphique fulgurante. La vitesse élevée du graphisme se produit suivant certains rythmes :

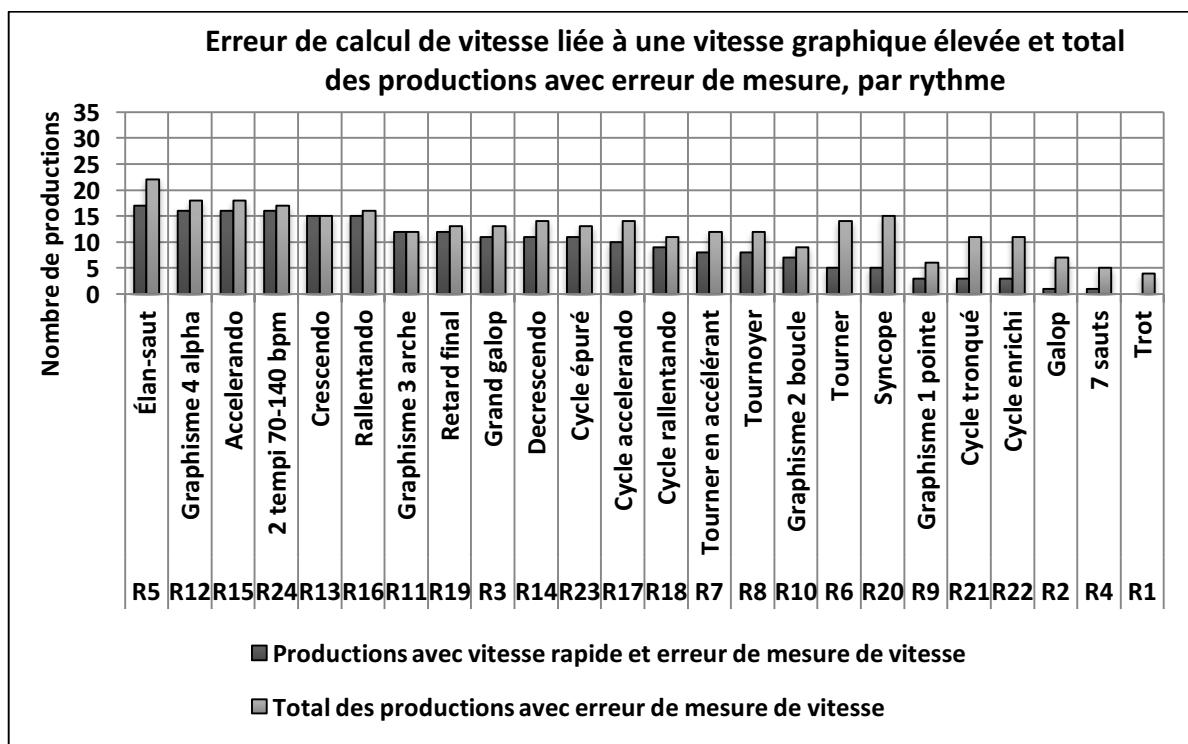


Figure 106: Erreur de calcul de vitesse liée à une vitesse graphique élevée et total des productions avec erreur de calcul, par rythme

Des productions de vitesse graphique très élevée semblent en lien avec une fréquence de frappes élevée : R5 Elan-saut, R12 Graphisme alpha, R16 *Rallentando*, ou croissante : R15 *Accelerando*, R24 Deux tempi. L'intensité croissante du rythme peut également engendrer une vitesse graphique élevée : R13 *Crescendo*. On note que le rythme R14 *Decrescendo* est initialement *forte*, ce qui provoque immédiatement des mouvements graphiques vifs chez l'enfant. L'accélération graphique fulgurante est également en lien avec les propriétés rythmiques, en particulier avec une modification subite et forte de l'intensité et du tempo et de la fréquence de frappes.

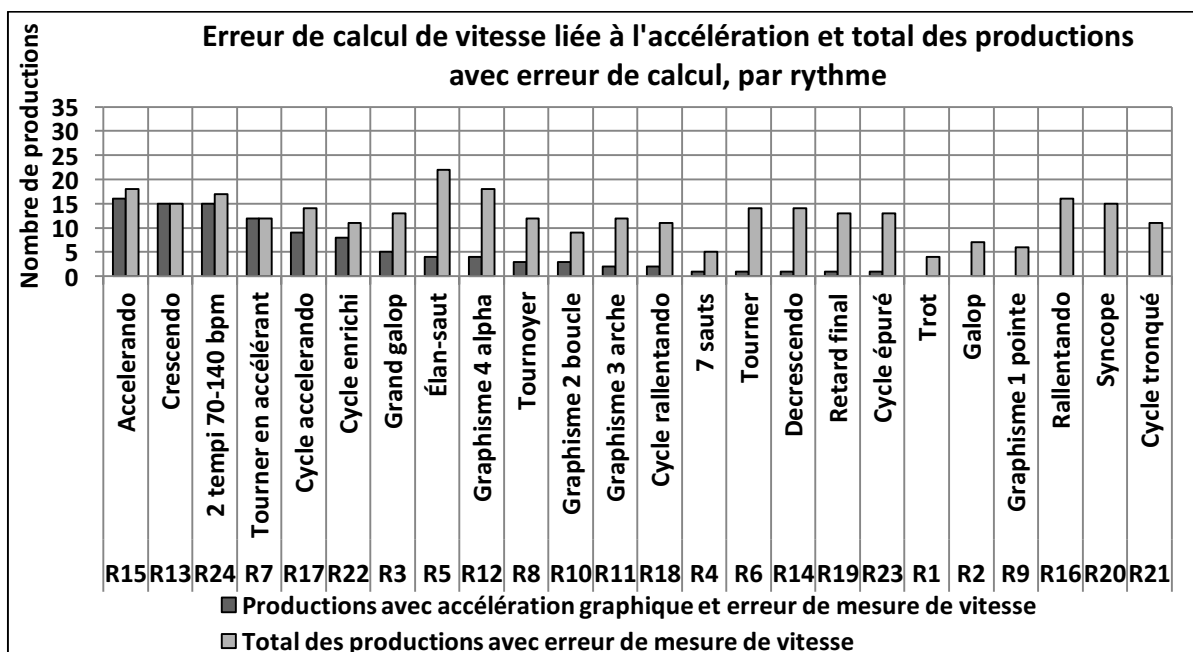


Figure 107: Erreur de calcul de vitesse liée à une vitesse graphique élevée et total des productions avec erreur de calcul, par rythme

Les productions graphiques présentent une forte accélération suivant l'augmentation de la fréquence de frappes en cours d'item : R15 *Accelerando*, R24 Deux tempi, R7 Tourner en accélérant, R17 *Cycle accelerando*, R22 *Cycle enrichi*. Une forte accélération graphique se produit également suivant l'intensification du rythme, notamment dans 50% des productions sur R13 *Crescendo*.

- **Evolution de la vitesse ou de l'accélération en cours d'item**

Sur les 302 représentations graphiques avec erreurs de calcul de vitesse, 55% présentent une erreur en début de production, 25% en cours et 19% en fin de production :

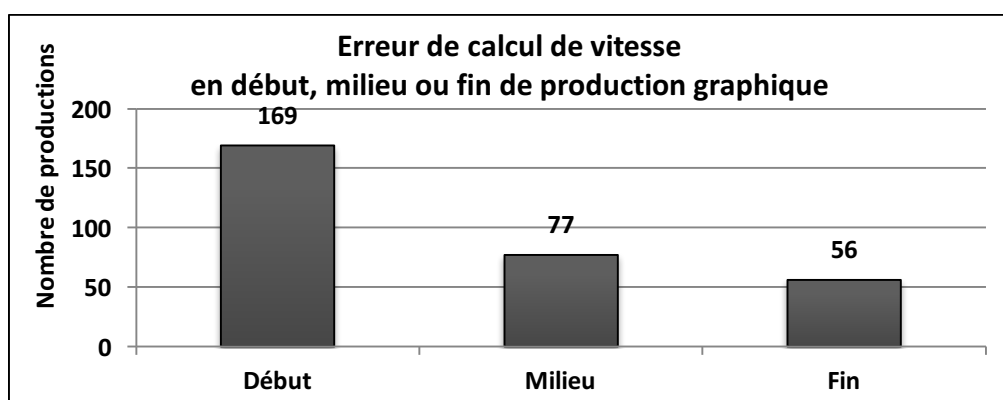


Figure 108: Erreur de calcul de vitesse en début, milieu, fin de production graphique

Sur la totalité des productions graphiques avec calcul de vitesse erroné, 70% sont liées à une vitesse très élevée en début de représentation, 70% en milieu de production et 60% en fin de production. Le nombre de ces productions varie selon les rythmes :

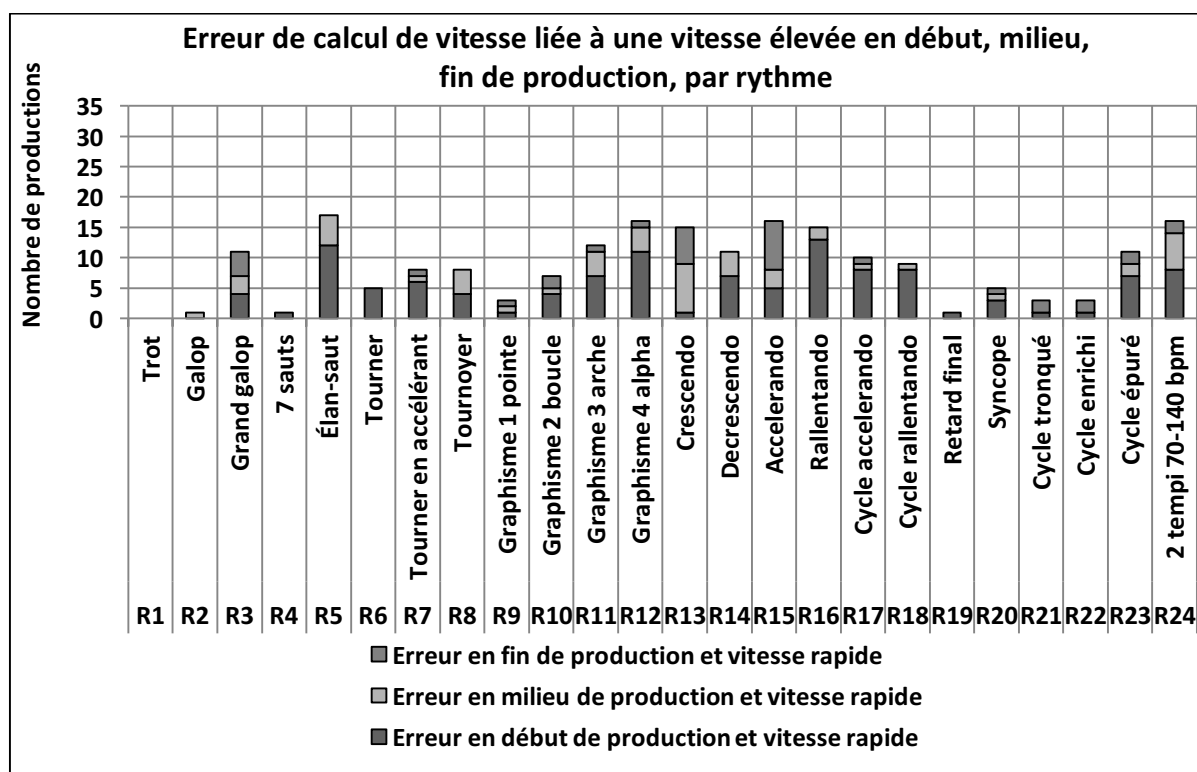


Figure 109: Erreur de calcul de vitesse liée à une vitesse élevée en début, milieu, fin de production, par rythme

La célérité graphique est en lien avec des rythmes qui présentent une grande fréquence de frappes et une évolution de ce facteur en cours d'item, et avec des rythmes dont l'intensité évolue durant l'item.

Vitesse graphique élevée en début d'item

Elle est liée à la grande fréquence de frappes des rythmes : R5 Elan-saut, R7 Tourner en accélérant, R11 Graphisme arche, R12 Graphisme alpha, R16 *Rallentando*, R18 *Cycle rallentando*, R23 *Cycle épuré*.

Concernant R15 *Accelerando* et R17 *Cycle accelerando*, la célérité graphique initiale ne peut être expliquée par la fréquence de frappes qui est faible en début d'item. Il est probable que les enfants débutent leur traçage avec une grande énergie motrice liée à la première écoute du rythme et la fréquence de frappes très élevée en fin d'item. Le R17 *Cycle accelerando* peut bénéficier de la même explication avec un effet supplémentaire lié à la cyclicité du rythme, comparé à la simple accélération de frappes régulières de R15.

La célérité graphique est également en lien avec des rythmes dont l'intensité débute *fortissimo* : R14 *Decrescendo*.

Vitesse graphique élevée en milieu d'item

Les effets de la grande fréquence de frappes sur la vitesse graphique se poursuivent en milieu d'item pour R3 Grand galop, R5 Elan-saut, R8 Tournoyer, R11 Graphisme arche, R12 Graphisme alpha.

Une fréquence de frappes croissante en milieu d'item engendre une vitesse graphique élevée (R15 *Accelerando* et R24 Deux tempi) tandis qu'une baisse de fréquence de frappes en milieu d'item engendre peu de productions de vitesse élevée (R16 *Rallentando* et R18 Cycle *rallentando*).

Le R13 *Crescendo* engendre 25% de productions de vitesse graphique très élevée au cours de l'item. Les enfants produisent encore quelques graphismes de très grande vitesse en cours de R14 *Decrescendo* alors que l'intensité du rythme décroît.

Vitesse graphique élevée en fin d'item

La vitesse des productions graphiques reste élevée en fin d'item sur R13 *Crescendo* et R15 *Accelerando* (20% et 25%) en lien avec le *forte* de R13 et avec la fréquence de frappes très élevée de R15.

- **Forte accélération graphique en début, milieu ou fin de production**

Sur la totalité des productions graphiques avec calcul de vitesse erroné, 23% sont liées à une accélération très forte en début de représentation, 40% en cours de production et 60% en fin de production. Le nombre de ces productions varie fortement selon les rythmes, indiquant un lien entre rythme perçu et production graphique résultante :

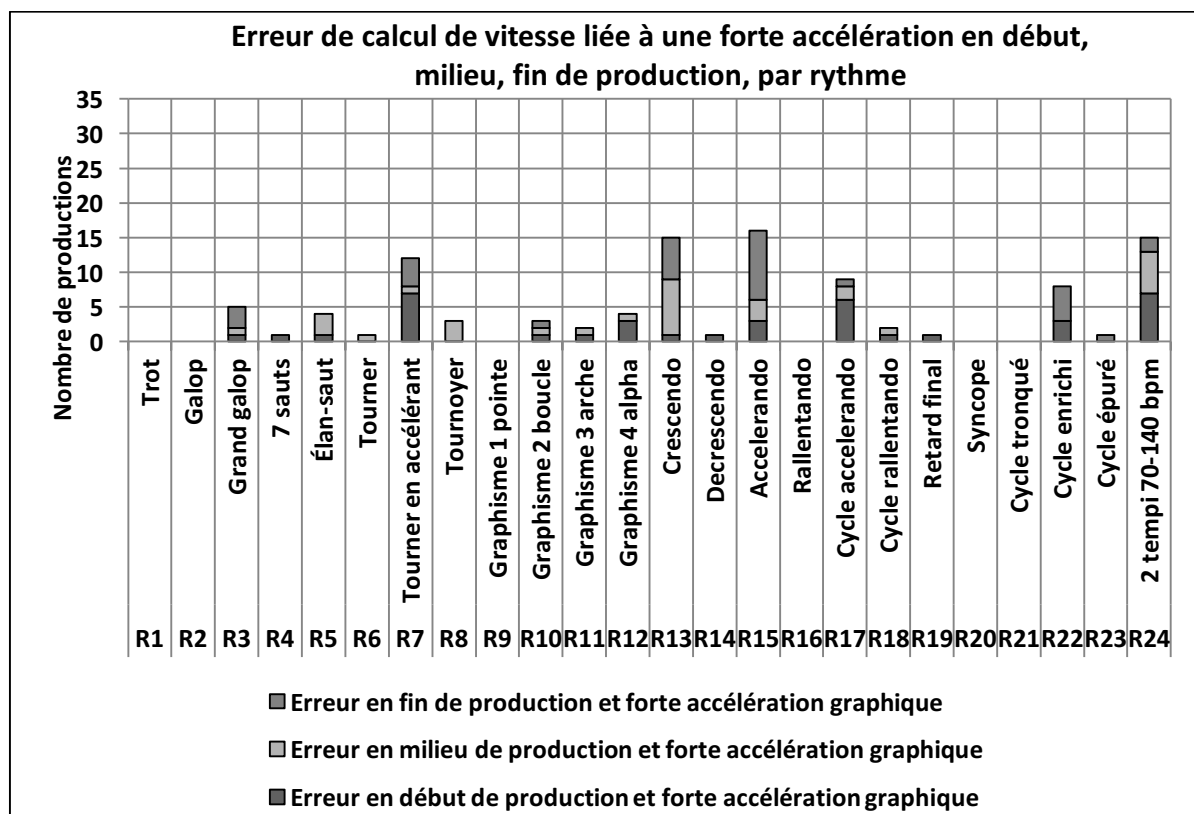


Figure 110: Erreur de calcul de vitesse liée à une forte accélération en début, milieu, fin de production, par rythme

La forte accélération graphique peut être liée à l'évolution de la fréquence de frappes, progressive ou brutale, et à l'intensification du rythme : R15 *Accelerando*, R24 Deux tempi et R13 *Crescendo* (50%).

Forte accélération graphique en début d'item

Elle est liée à la grande fréquence de frappes initiale du R17 *Cycle accelerando*.

Les rythmes R7 *Tourner en accélérant*, R17 *Cycle accelerando* et R24 *Deux tempi* engendrent immédiatement de fortes accélérations graphiques sans avoir une fréquence élevée en début d'item. La première écoute de chaque rythme aura pu inciter l'enfant à produire un graphisme dans l'énergie liée la grande fréquence de frappes en fin d'item, effet couplé à la cyclicité de ces rythmes.

Forte accélération graphique en milieu d'item

Leur fréquence de frappes croissant, les rythmes R17 et R24 continuent d'engendrer de fortes accélérations graphiques rejoints par R15 *Accelerando*.

En lien avec l'intensité croissante en cours de rythme, le R13 *Crescendo* engendre 25% de ses représentations avec de fortes accélérations en cours d'item.

Forte accélération graphique en fin d'item

Pour les mêmes raisons que précédemment, le rythme R15 *Accelerando* est le plus représenté avec 30% de productions avec une forte accélération en fin d'item, suivi par R13 *Crescendo*, R22 Cycle enrichi et R7 Tourner en accélérant.

5.2.4.3 Vitesse élevée et forte accélération graphiques selon les sujets

Sur l'ensemble de l'expérience, la représentation de graphismes engendrant un problème de calcul se produit sensiblement plus fréquemment chez les garçons qui, par déduction, ont des traçages de vitesse élevée ou de forte accélération :

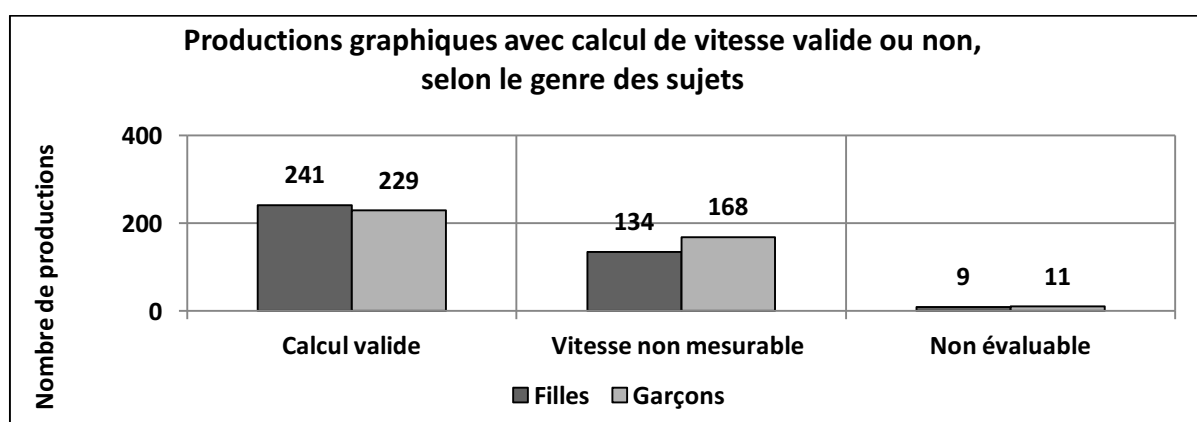


Figure 111: Productions graphiques avec calcul de vitesse valide ou non selon le genre des sujets

L'âge des sujets paraît plus déterminant, les sujets plus âgés produisant le plus de productions avec calcul valide et le moins de productions avec calcul erroné, à l'inverse des sujets les plus jeunes :

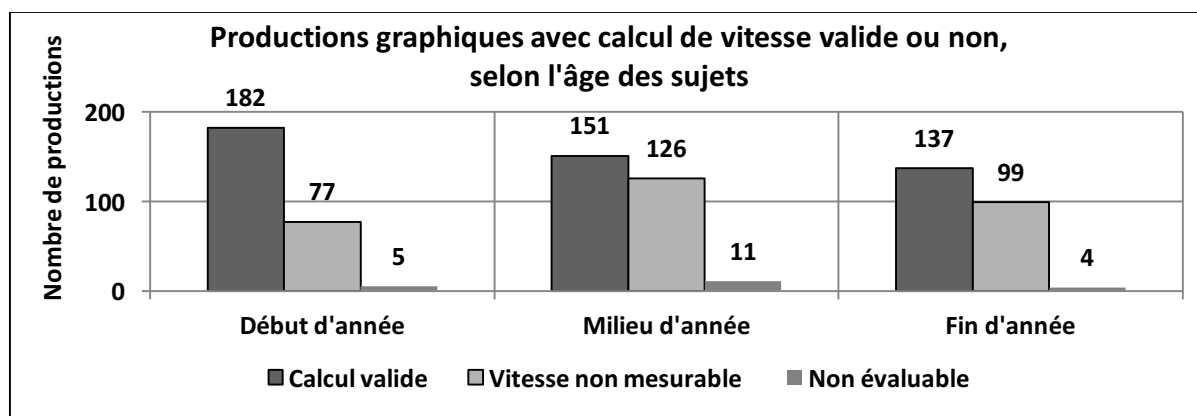


Figure 112: Productions graphiques avec calcul de vitesse valide ou non selon l'âge des sujets

Plus précisément, les garçons produisent davantage de représentations avec erreurs de calcul de vitesse en début d'item :

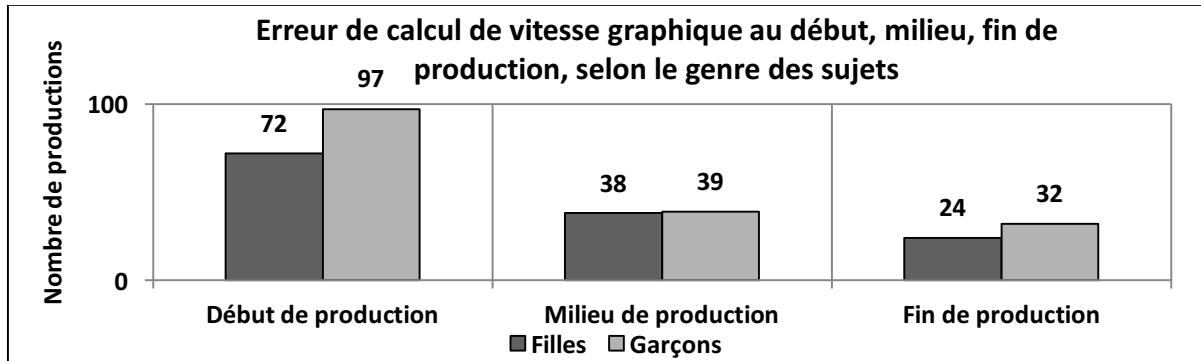


Figure 113: Erreur de calcul de vitesse graphique au début, milieu, fin de productions, selon le genre des sujets

L'âge n'est pas significatif dans la production de représentations avec erreur de calcul de vitesse en début, milieu ou fin d'item :

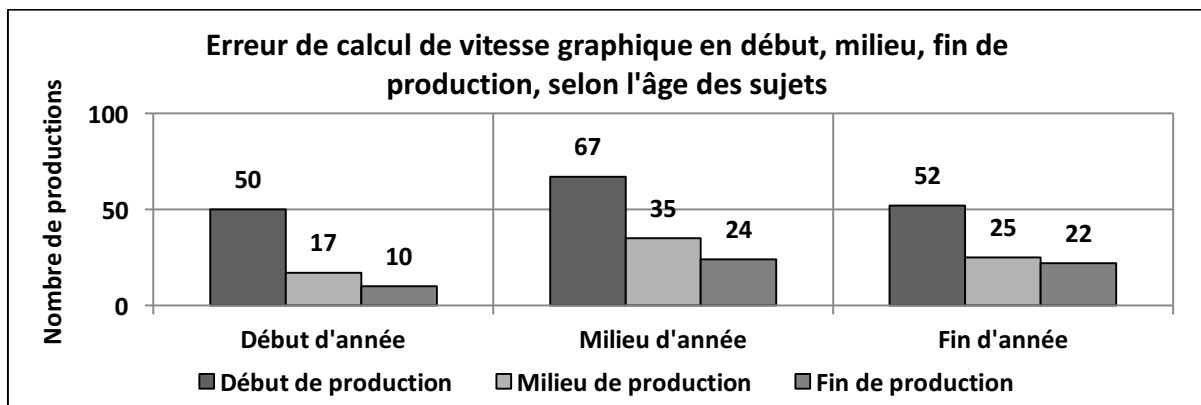


Figure 114: Erreur de calcul de vitesse graphique au début, milieu, fin de productions, selon l'âge des sujets

Les sujets réagissent très différemment sur le plan de la vitesse avec des productions graphiques de grande vitesse et de forte accélération. Ces erreurs de calcul de vitesse sont globalement fortement liées à une vitesse élevée des productions graphiques. Seuls les sujets 18LG et 31RE présentent quelques productions graphiques dont les erreurs de calcul de vitesse ne sont pas en lien avec la vitesse graphique réelle mais semblent causées par une mauvaise tenue du stylo :

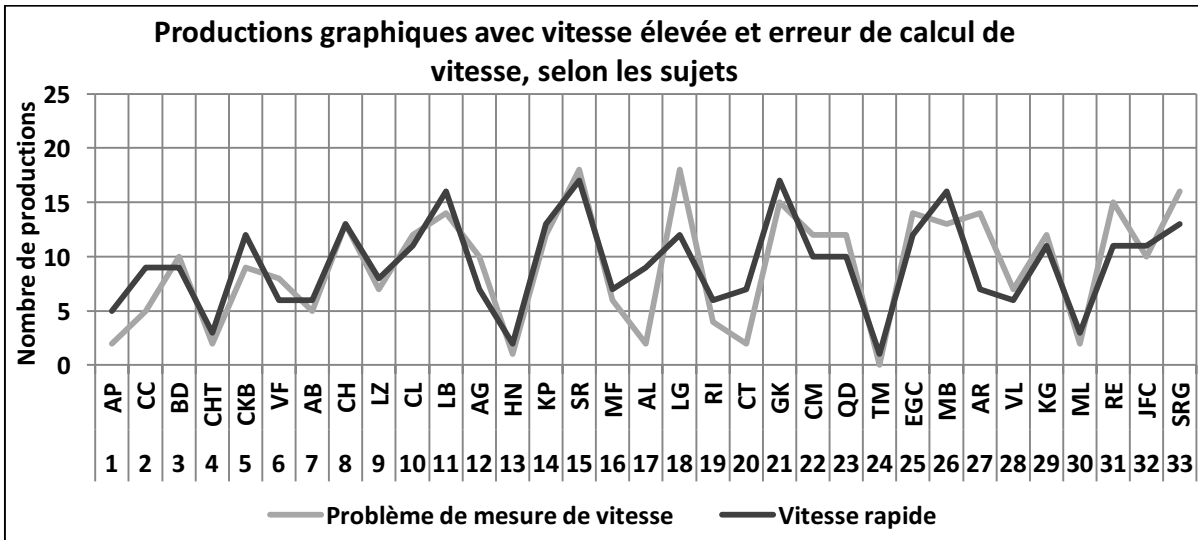


Figure 115: Productions graphiques avec vitesse élevée et erreur de calcul de vitesse, selon les sujets

On distingue des enfants avec des vitesses de traçage particulièrement lentes (Filles : 4CHT, 13HN, 1AP ; Garçons : 24TM, 30ML, 17AL, 20CT). Leurs graphismes sont peu rapides et sans accélération vive, quels que soient les rythmes. Ils font preuve d'un plus grand contrôle moteur. D'autres sujets présentent des comportements grapho-moteurs opposés avec des productions graphiques d'une célérité remarquable dans plus de 50% de leurs productions (Filles : 11LB, 15SR ; Garçons : 18LG, 21GK, 33SRG).

Quelques cas de réactions graphomotrices extrêmement vives ont lieu en début de productions (Fille : 15SR ; Garçons : 18LG, 26MB) :

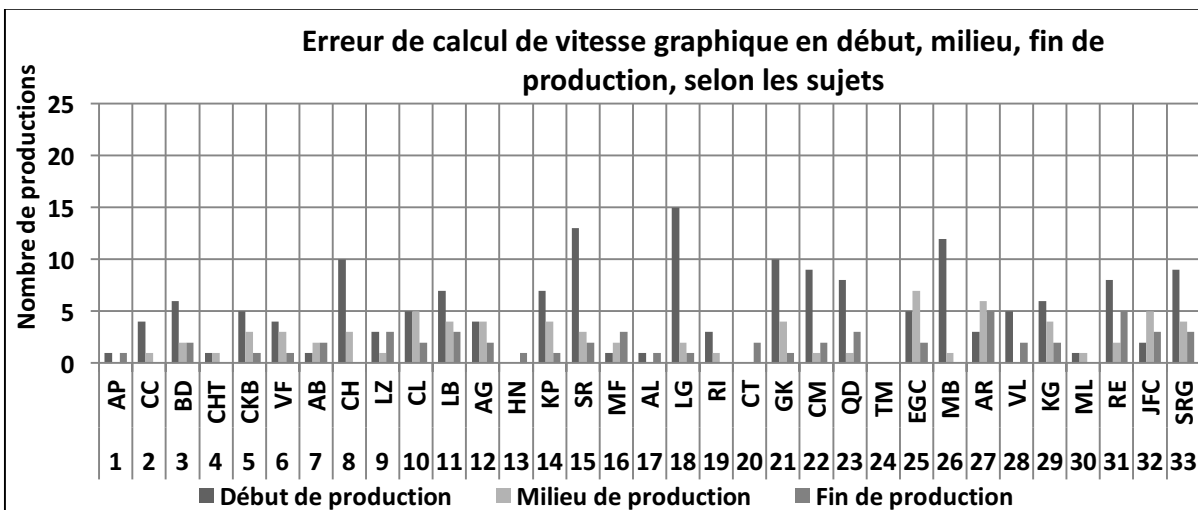


Figure 116: Erreur de calcul de vitesse graphique en début, milieu, fin de production, selon les sujets

L'enfant 18LG a un comportement grapho-moteur très vif. La forme de ses graphismes est constante sur toute l'expérience : il représente tous les rythmes par des boucles dextrogyres dont la vitesse initiale est très rapide.

Le sujet 29KG est particulièrement réactif avec de fortes accélérations graphiques :

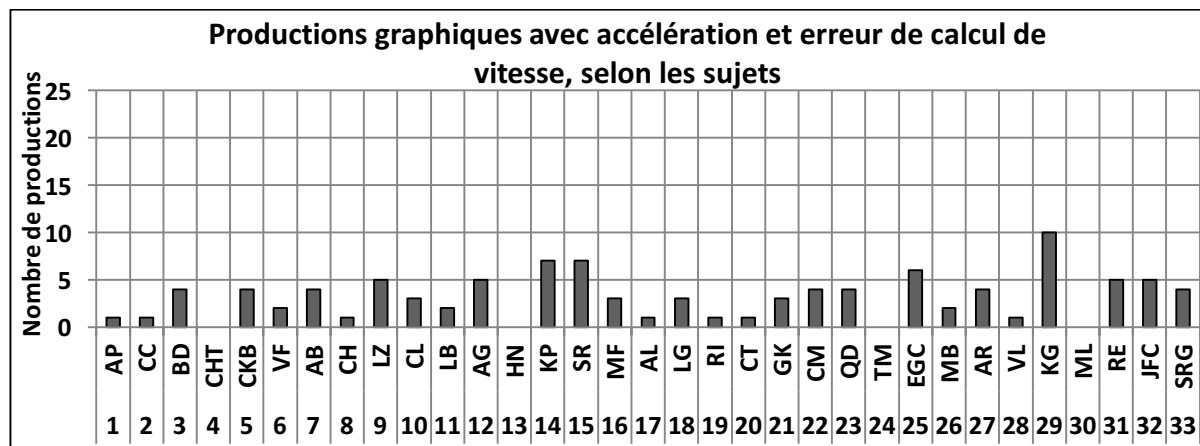


Figure 117: Productions graphiques avec accélération et erreur de calcul de vitesse, selon les sujets

5.2.5 Bilan

L'analyse de la dynamique du graphisme permet d'établir que la vitesse du traçage est en lien étroit avec des propriétés rythmiques d'intensité et de durées. Les productions graphiques *enactives* permettent à l'enfant de représenter par son mouvement des propriétés rythmiques qu'il a perçues lors d'une première écoute du pattern et sur lesquelles il réagit graphiquement lors de la seconde écoute.

L'analyse des relations entre les traçages et les rythmes montre que certaines propriétés rythmiques communes aux deux domaines, graphique et sonore, sont appariées par les enfants de cinq ans : la vitesse graphique évolue en lien avec les motifs rythmiques et avec les frappes accentuées, la régularité ou l'irrégularité de la structure. Elle est fortement appariée à la fréquence de frappes, avec des réactions motrices opposées et symétriques, un *accelerando* engendrant une accélération du graphisme, un *rallentando*, une décélération graphique. La vitesse graphique est également fortement appariée à l'intensité du rythme, avec le caractère d'opposition des réactions motrices, plus l'intensité du rythme croît, plus la vitesse est élevée et inversement, et d'une asymétrie des réponses : la vitesse du mouvement graphique croît plus sur un *crescendo* qu'elle ne décroît sur un *decrescendo*. Ces résultats permettent d'ores et déjà de montrer que la dynamique du graphisme est en lien avec les propriétés d'organisation d'intensité et de durées des rythmes.

Sur le plan de la variabilité intersubjective, la vitesse des productions graphiques ne semble pas dépendre fortement du genre ni de l'âge des enfants. On relève la tendance des garçons à produire des tracages plus irréguliers et de vitesse élevée et la tendance des enfants plus âgés à produire des tracages plus réguliers et de vitesse plus modérée que les enfants les plus jeunes. Toutefois, ces éléments n'ont qu'une valeur indicative et devront être vérifiés à plus grande échelle. L'analyse intrasubjective semble indiquer le caractère subjectif voire idiosyncrasique de la dynamique grapho-motrice. Elle nécessite des recherches ciblées sur la régularité et la spécificité des propriétés dynamiques graphiques de ces individus.

6 Effets de propriétés rythmiques sur le graphisme

Les rythmes proposés comportent des propriétés différentes d'organisation de l'intensité et/ou d'organisation des durées, porteuses d'informations de *mouvement*. L'objectif de ce chapitre est d'analyser les effets de ces propriétés rythmiques sur le mouvement du graphisme. La méthode consiste à sélectionner parmi les rythmes ceux qui possèdent une propriété sonore caractéristique puis à analyser l'appariement de cette propriété sonore avec la forme et la dynamique graphique en recherchant des régularités dans les productions graphiques et en relevant des particularités. On analyse l'effet sur le graphisme des propriétés rythmiques suivantes :

- Propriétés de l'intensité : organisation de l'intensité¹
 - o Intensité absolue²
 - o Evolution de l'intensité
 - o Intensification par effet d'accent
- Propriétés de timbre avec sensation de hauteurs³
- Propriétés des durées : organisation des durées
 - o Durée des intervalles inter-frappes
 - o Intervalles croissants vs décroissants
 - o Irrégularité de la structure rythmique
 - o Tempo
 - o Groupements rythmiques
- Propriétés d'intensité et de durées combinées

Pour chaque propriété rythmique, on rappellera les hypothèses opérationnelles posées en amont⁴ sur l'appariement de propriétés rythmiques avec la forme et/ou la dynamique graphique. L'analyse proprement dite sera fondée sur les résultats quantifiés de l'analyse audiovisuelle comparant les propriétés graphiques formelles et dynamiques et de synchronisation audio-graphique selon les rythmes (Cf. Annexe VI : Tableaux de

¹ L'organisation de l'intensité est la dynamique du rythme. Pour éviter toute confusion, on réserve le terme « dynamique » pour qualifier ce qui est relatif au mouvement.

² Intensité constante, *piano*, *mezzoforte*, *forte*, *fortissimo*, sur l'ensemble de l'item.

³ Quelques résultats concernent également l'effet de hauteurs, sensation liée aux effets de timbre, sur le graphisme. Cette propriété rythmique caractérise certains rythmes proposés aux enfants.

⁴ Cf. 4.1.1.3.

comparaison des données dynamiques et formelles graphiques et de synchronisation audiographique, selon les propriétés des rythmes). Pour chaque propriété rythmique, un bilan synthétique présente les propriétés rythmiques testées (en caractère gras) et non testées (caractère normal), les hypothèses de l'effet des propriétés rythmiques sur les propriétés graphiques vérifiées (propriétés graphiques en caractère gras) ou invalidées (propriétés graphiques en caractère normal). On apportera quelques résultats supplémentaires (en italique).

6.1 Intensité et organisation de l'intensité

Comment la dynamique des rythmes, i.e. l'organisation temporelle de l'intensité des rythmes, est-elle perçue par l'enfant de cinq ans et représentée dans son graphisme ? Quels effets ces propriétés rythmiques produisent-elles sur la dynamique et sur la forme graphique ?

Les hypothèses initiales à tester sont les suivantes :

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
INTENSITÉ		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Intensité absolue						
	<i>Piano</i>	→	Lente		Petite	
	<i>Forte</i>	→	Rapide		Grande	
Organisation de l'intensité						
	<i>Crescendo</i>	→	Accélération +++		Croissante	
	<i>Crescendo rapide</i>	→	Forte accélération			
	<i>Decrescendo</i>	→	Ralentissement --		Décroissante	
	<i>Decrescendo rapide</i>	→	Ralentissement	Arrêt		
Accentuation						
	- Faible - Uniforme	→	Constante	Continu, souple	Petite	Courbe
	- Forte - Variée	→	- Pattern cinétique - Variée	Discontinu, rigide, saccadé	Grande	Anguleux

Tableau 60: Hypothèses sur l'effet de propriétés d'intensité des rythmes sur le graphisme

Ces hypothèses sont testées avec des rythmes dont les propriétés dynamiques sont les caractéristiques principales et dont on compare les effets sur les comportements graphiques des enfants.

6.1.1 Intensité absolue : nuances *forte* et *piano*

Les hypothèses concernant les effets sur le graphisme de propriétés d'intensité 'absolue' sont testées par comparaison des réactions graphiques suite à l'écoute de quatre rythmes d'intensité 'absolue' variée (Cf. Annexe VI 6.1.1) qui sont rangés dans l'ordre de leur intensité décroissante *et* de leur fréquence de frappes croissante, comme suit :

5 Elan-Saut 3.6

Exemple musical 67: Rythme 5 « Elan-Saut »

11 Graphisme 3 Arche 3.7

Exemple musical 68: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

12 Graphisme 4 Alpha 4.5

Exemple musical 69: Rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »

10 Graphisme 2 Boucle 2.9

Exemple musical 70: Rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »

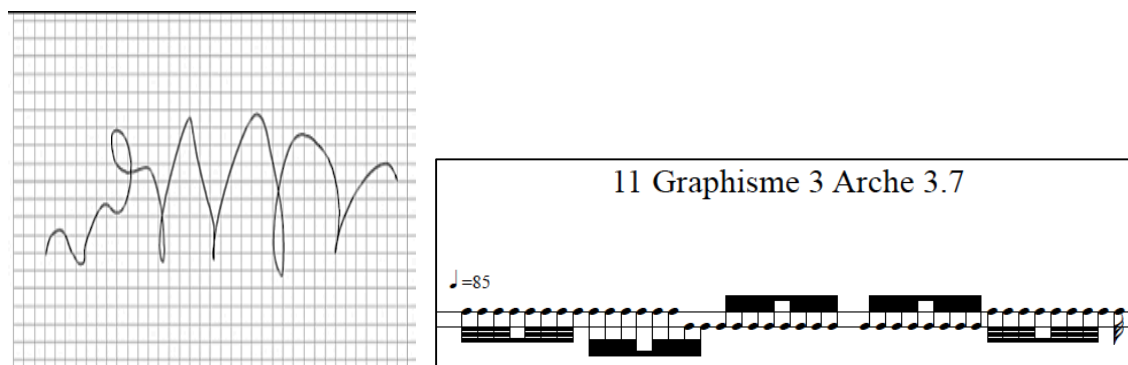
PROPRIÉTÉS	RYTHMES			
	R5 élan-saut	R11 Graphisme arche	R12 Graphisme alpha	R10 Graphisme boucle
Intensité (sone)	FF (10)	F (7-9)	mF (6-8)	p (3-6,4-8)
Dynamique	<	> <		<> <>
Fréquence de frappes	de constante : 10 (-15)	variée:(15..10..15)	constant : env.11	constante : env. 16
Nombre de frappes	de 25 (-5)	41	46	50

Tableau 61: Propriétés dynamo-agogiques des rythmes 5, 10, 11 et 12

On constate que les résultats quantifiés des propriétés formelles et dynamiques des productions graphiques selon les rythmes sont remarquablement ordonnés de R5, R12, R11 à R10, croissants ou décroissants selon le critère graphique étudié. On note que le rythme R12 engendre des productions graphiques plus proches de R5 que R11, alors que l'intensité absolue de R11 est plus proche de R5. Les variations d'intensité et de fréquence de frappes élevée de R11 ont probablement influencé les productions graphiques enfantines.

« Là, ça frappe fort !! » (Antoine L. pendant le traçage du rythme 11)

R11G01AL



Exemple musical 71: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

Dynamique graphique

Les taux de productions graphiques sont décroissants suivant l'intensité décroissante de *forte* à *piano* de R5, R12, R11 à R10 concernant la vitesse graphique, le nombre de productions de vitesse élevée, notamment en début de production (sur l'ensemble des rythmes, le taux est maximal pour le rythme R5 *forte*) et les patterns graphiques cinétiques.

Forme graphique

Le rythme R5 engendre des graphismes de taille grande ou moyenne, sans évolution, qui sont en lien avec l'intensité *forte*. Par opposition, les graphismes produits sur le rythme

piano R10 sont de taille petite ou moyenne, sans évolution, en lien avec la faible puissance sonore (Cf. Annexe VI 6.1.1 Tableau 104). Dans quelques cas, la discontinuité du graphisme avec un arrêt puis une reprise au milieu de la production est liée au *pianissimo* en milieu de l'item et au *crescendo* qui suit.

Bilan

Les enfants tendent à répondre à des changements d'intensité par un changement de vitesse de leur motricité fine. L'écoute de frappes *forte* engendre une vitesse graphique élevée, contrairement à l'écoute de frappes *piano* qui engendre des vitesses graphiques beaucoup plus faibles. La taille du graphisme semble être un critère pertinent pour l'enfant avec une faible amplitude dans le cas de l'intensité *piano-pianissimo*.

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
INTENSITÉ		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Intensité absolue						
	<i>Piano</i>	→	Lente		Petite	
	<i>Forte</i>	→	Rapide		Grande	

Tableau 62: Bilan des effets de l'intensité absolue sur le graphisme

6.1.2 Variations d'intensité

6.1.2.1 Crescendo versus decrescendo

Les hypothèses sur les effets de variations d'intensité du rythme sur le graphisme sont testées par comparaison des réactions graphiques à l'écoute des protorythmes opposés R13 *Crescendo* et R14 *Decrescendo* (Cf. Annexe VI 6.1.2).

13 Crescendo 4.4

Exemple musical 72: Rythme 13 « *Crescendo* »

14 Decrescendo 5

Exemple musical 73: Rythme 14 « *Decrescendo* »

Dynamique graphique

On constate une accélération du graphisme dans 100% des productions sur R13 *Crescendo* et une décélération graphique dans 60% des productions sur R14 *Decrescendo*.

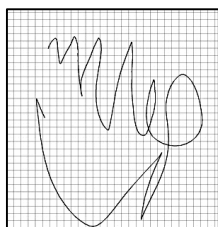
On note que l'enfant réagit tardivement sur le *decrescendo*, parfois en toute fin de production, par un ralentissement soudain du traçage pour s'adapter au *piano* final.

La moitié des productions a une vitesse très élevée, supérieure à 50 cm/s, en milieu et fin de production pour le *crescendo*, suivant l'intensification des frappes et en début d'item pour le *decrescendo*, suivant le *forte* initial.

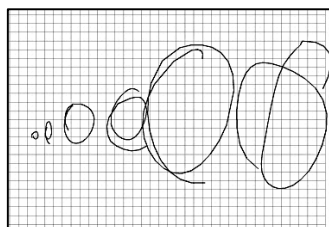
Forme graphique

L'évolution de la taille est très visiblement liée à l'évolution de l'intensité en cours d'item. Elle croît suivant le *crescendo* :

R13F07LB :

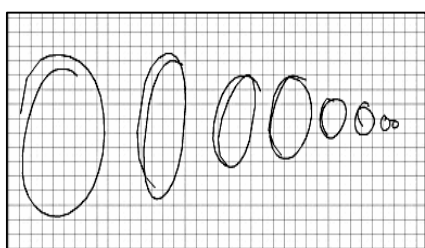


R13F09KP :

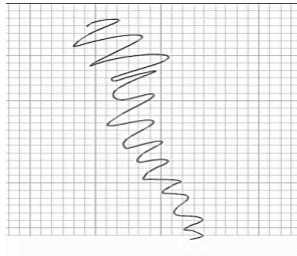


Dans 3 productions, la taille décroît assez régulièrement suivant le *decrescendo* :

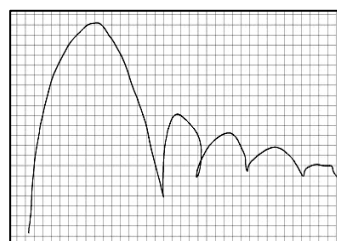
R14F09KP



R14G13SRG

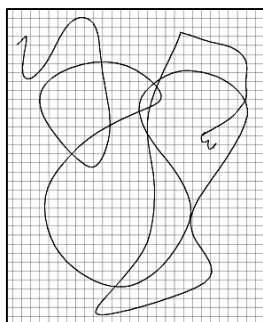


R14G01AL

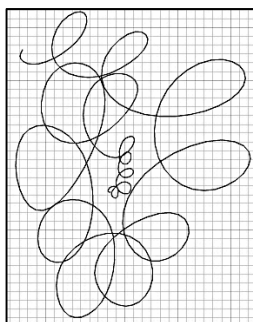


Cependant, la moitié des enfants réagit tardivement à la diminution progressive de l'intensité des frappes et recourt finalement à une taille graphique nettement inférieure pour marquer le *pianissimo* final :

R14F07LB



R14F03CC



Bilan

Les réactions graphiques suivant les paramètres sonores opposés *crescendo-decrescendo* sont opposées en termes de cinématique, accélération-décélération, et d'évolution de taille, croissante-décroissante. Elles sont asymétriques : tous les phénomènes graphiques sont plus importants suivant le *crescendo* que le *decrescendo*. L'accélération due au *crescendo* est plus forte que la décélération causée par le *decrescendo*. De même, la croissance de taille du graphisme sur un *crescendo* est plus importante que la décroissance sur un *decrescendo*. Cette asymétrie des analogies musicales-spatiales remarquée précédemment par Z. Eitan et R. Y. Granot⁵ à partir de réponses verbales d'auditeurs sur des patterns musicaux se trouve confirmée sur les plans rythmiques et graphiques. Comment expliquer l'asymétrie des réactions grapho-motrices des auditeurs ? On peut supposer qu'il est encore difficile pour l'enfant de cinq ans de contrôler sa vitesse graphique, d'inhiber son mouvement, et donc plus difficile de ralentir que d'accélérer. L'ordre de présentation des items peut également avoir causé ces réactions motrices asymétriques. En effet, le *crescendo* précédant le *decrescendo*, l'énergie sonore et motrice est à son climax au début du *decrescendo*. Cette dynamique tend à se prolonger durant l'item malgré la très audible baisse d'intensité des frappes. Il paraît nécessaire de tester l'ordre inverse de présentation des items R13 et R14 ou de les isoler pour comparer la sensibilité au *decrescendo* et vérifier si l'asymétrie des réactions graphiques enfantines est renouvelée.

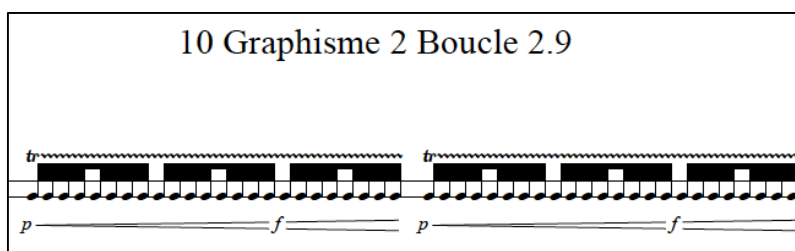
RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
INTENSITÉ		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Organisation de l'intensité						
	<i>Crescendo</i>	→	Accélération +++		Croissante ++	
	<i>Crescendo</i> rapide	→	Forte accélération			
	<i>Decrescendo</i>	→	Ralentissement ++		Décroissante +	
	<i>Decrescendo</i> rapide	→	Ralentissement	Arrêt		

Tableau 63: Bilan des effets de variations continues de l'intensité sur le graphisme

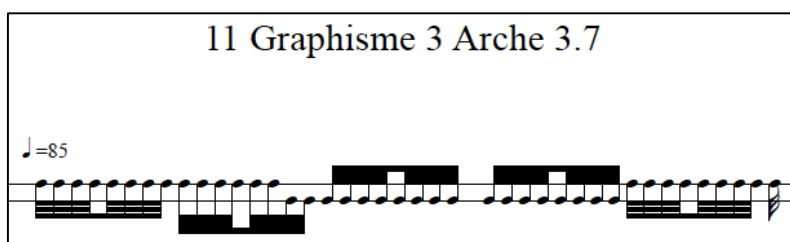
⁵ Résultats émanant de réponses verbales des auditeurs à l'écoute de patterns musicaux, EITAN, Zohar, GRANOT, Roni Y., "How Music Moves : Musical Parameters and Listeners' Images of Motion", *Music Perception*, Volume 23, 2006, p. 221-247.

6.1.2.2 Variations d'intensité durant l'item

Les hypothèses sur l'effet de variations d'intensité en cours d'item sur le graphisme sont testées précisément avec le rythme R10 Graphisme boucle, composé de deux *crescendo-decrescendo* successifs avec une intensité globale *piano*, et le rythme R11 Graphisme arche dont l'intensité *forte* varie de *decrescendo* à *crescendo* (Cf. Annexe VI 6.1.3).



Exemple musical 74: Rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »



Exemple musical 75: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

Dynamique graphique

Sur R11, la vitesse graphique est rapide en début d'item, liée à la nuance *forte*. 30% des productions effectuées sur R10 et 40% sur R11 présentent une vitesse irrégulière et une accélération en cours d'item, sans doute liées à la variation d'intensité de R10 dont la fréquence de frappe est constante, alors que R11 varie en fréquence de frappe *et* en intensité. Cette accélération se produit en milieu d'item pour R11, suivant le *crescendo*. A contrario, on n'enregistre aucune décélération graphique alors que les deux rythmes présentent un *diminuendo* central.

Forme graphique

La taille des graphismes est plus grande sur R11 que sur R10 du fait de la nuance *forte* du rythme. Elle est croissante dans 40% des productions, probablement en lien avec le *crescendo* final. Le graphisme est continu sur les deux rythmes, hormis 30% des productions graphiques sur R10 dont l'arrêt du traçage en milieu d'item correspond à la perception du *pianissimo* central.

Bilan

L'évolution de l'intensité en cours d'item se traduit essentiellement par une irrégularité de vitesse graphique. L'absence de décélération sur un *diminuendo* en cours de rythme rejoint les réactions graphiques sur le protorythme R14 *Decrescendo*. Les items présentés sont sans doute trop brefs (3 s pour R10 et 3,7 s pour R11) et de trop faible variation d'intensité pour permettre aux enfants de représenter la dynamique rythmique qu'ils peuvent pourtant avoir perçue. Un test avec des protorythmes variant d'intensité en puissance et sur la durée, avec une fréquence de frappes constante permettrait d'affiner ces résultats.

6.1.3 Intensification par accentuation des frappes

L'accentuation des frappes sur darbuka produit deux effets sonores différents et souvent combinés, la variation de l'intensité et la modification de timbre et de hauteur. Pour étudier l'effet de ces propriétés sur les graphismes enfantins, on sélectionne des rythmes dans lesquels l'accentuation produit de façon nettement perceptible l'intensification des frappes (Cf. Annexe VI 6.1.4).

- **Frappes peu accentuées**

On analyse les représentations graphiques produites sur les rythmes R10 Graphisme boucle et R12 Graphisme alpha.

10 Graphisme 2 Boucle 2.9

Exemple musical 76: Rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »

12 Graphisme 4 Alpha 4.5

♩ = 70

Exemple musical 77: Rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »

Dynamique graphique

On ne constate pas d'effet d'accent sur la vitesse graphique, si ce n'est une évolution plus irrégulière (40% sur R10) et peu de productions avec patterns graphiques cinétiques.

Forme graphique

Un grand nombre de frappes indifférenciées engendre de nombreuses formes graphiques aperiodiques jointes et continues (arabesque).

- **Frappes accentuées**

On analyse des productions graphiques sur les rythmes accentués R5 Elan-Saut, R8 Tournoyer et R11 Graphisme arche.

5 Elan-Saut 3.6

Exemple musical 78: Rythme 5 « Elan-Saut »

8 Tournoyer 3.1

Exemple musical 79: Rythme 8 « Tournoyer »

11 Graphisme 3 Arche 3.7

Exemple musical 80: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

Dynamique graphique

Les patterns cinétiques sont nombreux, notamment sur R5 (75%) et R11 (65%), en lien avec des frappes accentuées, nettement distinctes, régulières et *forte*.

Forme graphique

Les formes graphiques sont périodiques, discontinues ou disjointes.

- **Frappes accentuées et *forte* versus frappes peu accentuées et *piano***

Le rythme R12 Graphisme alpha, peu accentué et *piano*, est comparé par opposition à R11 Graphisme arche, aux frappes accentuées et *forte*.

11 Graphisme 3 Arche 3.7

Exemple musical 81: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

12 Graphisme 4 Alpha 4.5

Exemple musical 82: Rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »

Le rythme R11 engendre plus de productions avec des patterns cinétiques, une taille plus constante et des graphismes un peu plus souvent alignés. On note une meilleure synchronisation du graphisme avec les frappes accentuées et inversement plus d'asynchronie ou de désynchronisation du graphisme avec des frappes peu accentuées.

Bilan

Les rythmes dont les frappes sont accentuées engendrent plus de régularité dans les productions graphiques (patterns cinétiques, taille, alignement) et assurent une meilleure synchronisation. Il s'avère toutefois difficile d'analyser des critères graphiques qui seraient liés uniquement à l'accentuation des frappes. En effet, les rythmes proposés n'ont pas été conçus suivant cette propriété. Ils varient en accentuation, suivant le jeu riche et varié du percussionniste, mais d'autres propriétés les différencient comme la fréquence de frappes, l'intensité, les groupements : on ne peut donc attribuer aux graphismes une seule cause rythmique. Il reste nécessaire de tester des protorythmes et des rythmes spécifiquement conçus selon l'accentuation des frappes, facteur extrêmement important dans la motricité liée à l'écoute d'un rythme.

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
INTENSITÉ		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Accentuation						
	- Faible - Uniforme	→	Constante <i>Irrégulière</i>	Continu, Joint souple	Petite	Courbe Peu de motifs
	- Forte - Variée	→	- Pattern cinétique - Variée	Discontinu, rigide, saccadé	Grande	Anguleux

Tableau 64: Bilan des effets de l'intensification des frappes par effet d'accent sur le graphisme

6.1.4 Corrélation de l'intensité perçue et de la vitesse graphique, par rythme

La méthode de calcul des taux de corrélation maximale de la vitesse de la production graphique et de l'intensité du rythme permet d'apporter quelques précisions quant aux effets de l'organisation de l'intensité des rythmes sur la vitesse des productions graphiques enfantines. A partir des signaux d'entrée de corrélation filtrés⁶, un fichier de statistiques est établi par le seuil (0.1 ; 0.2 ; 0.3 ; 0.4) à partir duquel on considère que la corrélation est suffisante pour considérer que l'on a une ressemblance entre une courbe d'intensité du rythme et une courbe de vitesse graphique.

De manière générale, on constate que les corrélations entre vitesse de production de mouvement graphique et intensité du rythme sont faibles, probablement du fait que l'on compare deux signaux physiquement différents, le signal sonore et la vitesse d'un mouvement corporel. Toutefois, les graphes⁷ (Cf. Annexe VII : Valeur maximale de corrélation (par seuil) de la vitesse graphique et de l'intensité perçue, par rythme) indiquent que les valeurs de corrélation maximale entre intensité du rythme et vitesse graphique varient selon les rythmes. On s'intéressera donc à la valeur relative de ces taux de corrélation, suivant les rythmes. L'analyse par seuil permet de préciser pour quels rythmes la vitesse du graphisme est le plus fortement corrélée avec l'intensité.

Un plus grand nombre d'enfants a une vitesse de mouvement corrélée à l'intensité du rythme dans les cas des quatre premiers rythmes de la passation, R1 Trot, R2 Galop, R3 Grand galop, R4 Sept sauts, puis en milieu de passation, avec les protorythmes R13 *Crescendo* et R14 *Decrescendo* et enfin dans le cas du rythme R21 Cycle tronqué. Sur

⁶ Les données ont été filtrées avec un passe-haut, par valeur de seuil à partir duquel on considère que la corrélation est suffisante pour dire qu'on a une ressemblance (0.1, 0.2, 0.3, 0.4).

⁷ On produit des graphes dans chacun desquels chaque boîte correspond à un rythme, de 1 à 24 ; le nombre sous la boîte correspond au nombre de valeurs prises en compte pour ce rythme, *i.e.* au nombre d'enfants dont la valeur maximale du taux de corrélation dépasse le seuil fixé.

l'ensemble des rythmes, seules, onze productions⁸ dépassent le seuil de corrélation de 0.4. L'intensité des deux rythmes R1 Trot et R13 *Crescendo* est la plus fortement appariée avec la vitesse des graphismes produits durant l'écoute.

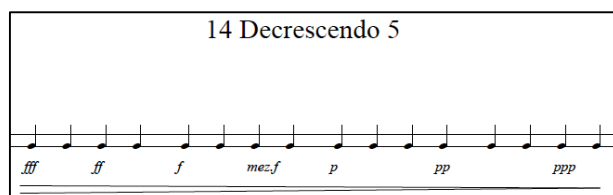
La corrélation vitesse-intensité semble précisément liée à l'organisation de l'intensité.

- Effet de la variation régulière et forte de l'intensité

Le protorythme R13 *Crescendo* est le plus corrélié à la vitesse en termes d'intensité : la variation d'intensité est régulière, rapide et de forte amplitude, passant de 4 à 12 sonos en moins de 4,5 s. En comparaison, le R14 *Decrescendo* engendre une vitesse graphique moins corréliée à l'intensité. De fait, l'amplitude de variation de l'intensité est moindre (de 8 à 4 sonos en 5 s) que celle du *Crescendo*. Ceci explique sans doute l'asymétrie des réponses graphiques sur le crescendo-decrescendo.



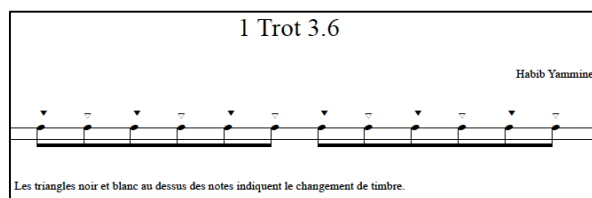
Exemple musical 83: Rythme 13 « Crescendo »



Exemple musical 84: Rythme 14 « Decrescendo »

- Effet de variations de l'intensité des frappes dans le groupement

R1 Trot et R2 Galop ont des frappes successives d'intensité très contrastée, de 5 à 8 sonos, qui engendre de fortes variations de vitesse graphique.



Exemple musical 85: Rythme 1 « Trot »

⁸ Pour le rythme 1 Trot : R1F03CC, R1F07LB, R1F09HN. Pour le rythme 3 Grand galop : R3F05AB. Pour le rythme 6 Tourner : R6G12SRG. Pour le rythme 13 *Crescendo* : R13F04CHT, R13F04CKB, R13F07LB, R13F09HN. Pour le rythme 14 *Decrescendo* : R14F09HN, R14G09VL.

2 Galop 4.2

♩ = 100

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 86: Rythme 2 « Galop »

- Effet de pause entre les frappes ou entre les groupements

9 Graphisme 1 Pointe 3.8

Exemple musical 87: Rythme 9 « Graphisme 1 Pointe »

R9 Graphisme Pointe engendre une vitesse graphique relativement bien corrélée à l'intensité du fait de sa composition en deux séries de frappes uniformes nettement séparées par une longue pause. Ce silence engendre une interruption du traçage graphique chez tous les sujets qui pourrait expliquer une forte corrélation momentanée entre vitesse-intensité (entre vitesse nulle-intensité nulle), et donc un taux de corrélation faible mais chez un nombre important de sujets.

- Effet combiné de variations d'intensité internes aux groupements et de pause inter-groupements

3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 88: Rythme 3 « Grand galop »

4 Sept sauts 4.2

♩ = 80

Exemple musical 89: Rythme 4 « Sept sauts »

21 Cycle tronqué 5.9

Exemple musical 90: Rythme 21 « Cycle tronqué »

Les frappes variées, accentuées et des pauses intergroupements caractérisent les rythmes R3 Grand galop (de 5 à 8 sonnes), R4 Sept sauts (de 7 à 9 sonnes), et R21 Structure tronquée, dont la dernière frappe de chaque cycle est fortement accentuée (10 sonnes), et engendrent des mouvements graphiques dont la vitesse est en lien avec les frappes ou groupes.

On note le cas du R18 Cycle *rallentando* qui bénéficie des deux effets et dont la vitesse graphique est relativement corrélée à son intensité, en comparaison de R16 *Rallentando* et R17 Cycle *accelerando*.

18 Cycle Rallentando (Gubbâhî) 4.5

Exemple musical 91: Rythme 18 « Cycle *rallentando* »

16 Rallentando 6.2

Exemple musical 92: Rythme 16 « *Rallentando* »

17 Cycle accelerando (Gubbâhî) 4.8

Exemple musical 93: Rythme 17 « Cycle *accelerando* »

L'intensité générale de R18 ne diminue que de 9 à 8 sones sur la durée de l'item mais les frappes internes aux cycles sont fortement variées en intensité. R16 *Rallentando* présente un taux de corrélation vitesse-intensité plus faible du fait que l'intensité diminue de 9 à 6 sones sur la durée de l'item mais sans varier d'une frappe à l'autre ou d'un groupe de frappes à un autre. De même, on constate que l'intensité de R17 Cycle *accelerando* est moins corrélée à la vitesse car, bien qu'évoluant de 7 à 10 sones, l'intensité des frappes est moins différenciée au sein des cycles.

Les plus faibles taux de corrélation vitesse-intensité sont mesurés pour les rythmes composés de faibles nuances et de faible puissance sonore : R12 Graphisme 4 Alpha, R7 Tourner en accélérant, R19 Retard final et R23 Cycle épuré.

12 Graphisme 4 Alpha 4.5

♩ = 70

Exemple musical 94: Rythme 12 « Graphisme 4 alpha »

7 Tourner en accélérant 6

♩ = 90 - 118 - 148

accel. poco accel. molto accel.

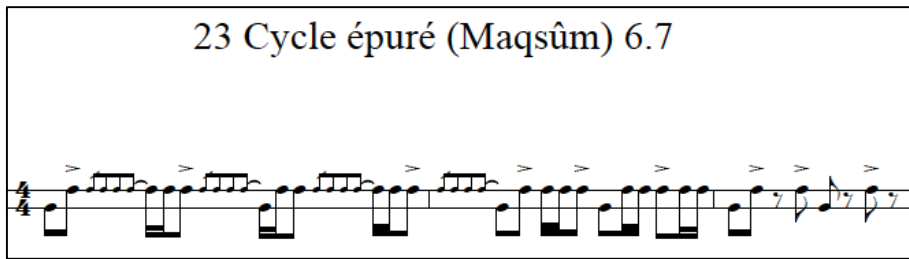
Exemple musical 95: Rythme 7 « Tourner en accélérant »

19 Retard final (Malfûf) 5

♩ = 120

rall.

Exemple musical 96: Rythme 19 « Retard final »



Exemple musical 97: Rythme 23 « Cycle épuré »

On ne relève aucun cas de rythme avec une intensité faiblement variée et dont le taux de corrélation vitesse-intensité serait élevé ni, inversement, de rythme avec une intensité fortement variée et un taux de corrélation vitesse-intensité faible.

Sur un plan méthodologique, on constate que les résultats de l'analyse des données issues de la méthode de calcul des taux de corrélation entre courbes d'intensité et de vitesse corroborent ceux de l'analyse de l'appariement des formes dynamiques issue du traitement audiovisuel des informations contenues dans les reproductions graphiques : l'analyse des taux de corrélation vitesse-intensité confirme que la vitesse du graphisme produit par l'enfant est liée à l'organisation de l'intensité du rythme écouté. Elle permet également de préciser que l'appariement vitesse-intensité est d'autant plus important⁹ que l'intensité des rythmes varie fortement, soit localement d'une frappe à l'autre ou d'un groupement de frappes à un autre, soit sur la durée de l'item.

6.2 Changement de timbre

Aucune hypothèse n'a été émise *a priori* concernant l'effet du timbre de la darbuka sur le graphisme. Les modifications de timbre engendrant une sensation de hauteur, on peut tenter de rechercher l'effet de ce paramètre sonore sur la forme du traçage qui pourrait représenter spatialement une variation de hauteur. Les relations entre hauteur et vitesse graphique semblent moins évidentes.

6.2.1 Alternance de timbres


Le rythme R1 Trot est qualifié de protorythme avec la seule modification du timbre instrumental qui se traduit par une perception de deux hauteurs variant selon l'alternance de

⁹ Le taux de corrélation est plus élevé et/ou qu'on trouve un nombre plus important de productions même faiblement corrélées.

frappes. La régularité temporelle et la faible fréquence de frappes devraient permettre aux auditeurs d'accorder leurs graphismes avec le son.

1 Trot 3.6

Habib Yammine



Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

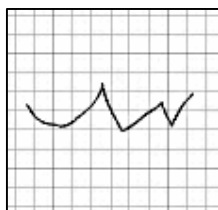
Exemple musical 98: Rythme 1 « Trot »

60% des productions graphiques présentent un pattern cinétique correspondant à la régularité de l'alternance des frappes de ce rythme (Cf. Annexe VI 6.2.1). En revanche, malgré la simplicité de l'item, le taux de synchronisation exacte ou même approximative n'atteint que 45%. Ceci est probablement lié au fait ce rythme, présenté en premier, permet aux enfants de manipuler le stylo et de s'initier à l'algorithme des tâches successives¹⁰ qui sera répété sur les 23 rythmes suivants.

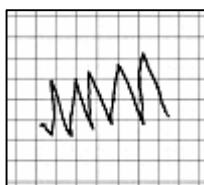
Parmi les 70% de productions graphiques périodiques, 15% sont jointes, 45% sont discontinues et 15% disjointes. Plus précisément, 12 productions sur 33 marquent la différence de hauteurs par un traitement des formes dans l'espace : des zigzags permettent de préciser simultanément l'instant des frappes et de spatialiser la hauteur du son. Dès le rythme suivant, R2 Galop, les formes graphiques se diversifient (5 productions avec zigzags).

Sur le rythme R1 Trot, le son le plus grave peut coïncider avec le bas du zigzag :

R1F02AP

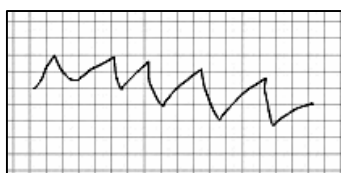


R1F07LB

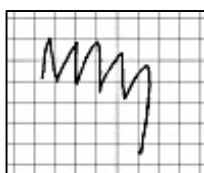


Toutefois, l'espace de représentation n'est pas orienté et la frappe la plus grave pourra se situer en haut du zigzag :

R1F09HN



R1G09VL

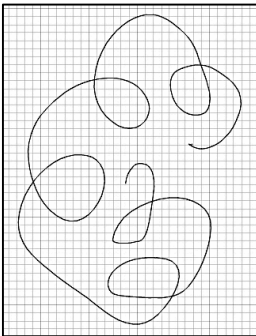


¹⁰ Ecoute « passive » - déclenchement du stylo-réécoute avec traçage - arrêt de l'enregistrement.

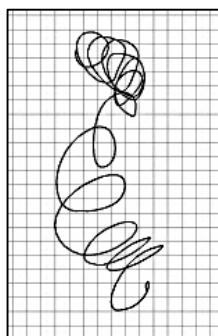
Quelques enfants produisent des zigzags dont la vitesse est deux fois plus rapide que la vitesse de déroulement des frappes. De ce fait, on ne peut associer une même hauteur sonore à chaque sommet du zigzag. Ce doublement du tempo moteur peut être lié au tempo de ce rythme qui est beaucoup plus lent que le tempo moteur spontané de ces jeunes sujets.

Le traçage de boucles (5 productions) s'effectue en synchronie avec les frappes (R1F04VF) ou à nouveau à une fréquence deux fois plus élevée (R1F05CH).

R1F04VF



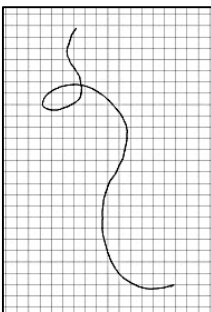
R1F05CH



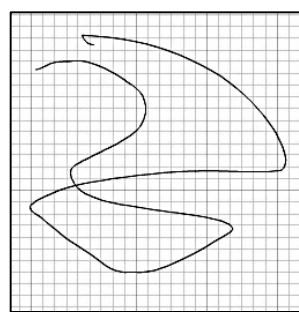
Durant le traçage, on observe que la frappe grave est localisée dans le bas de la boucle, au moment de la prise d'élan pour tracer la boucle elle-même au cours de laquelle se produit la frappe plus aiguë. Cependant, ces quelques productions ne permettent pas de généraliser ces observations sur l'appui, l'élan et la retombée du geste graphique.

30% des productions sont aperiodiques, asynchrones, totalement indépendantes des frappes et des variations de leur hauteur :

R1F08AG

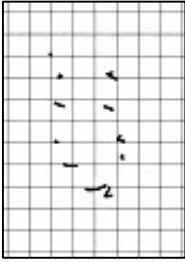


R1G12SRG



Dans trois productions, des points coïncident avec les frappes mais ils sont alignés dans l'espace, indifféremment des hauteurs :

R1G05CM

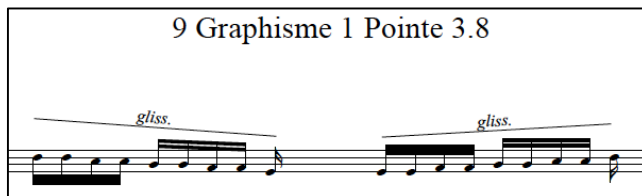


Bilan

L'alternance de timbre du protorythme R1 Trot est perçue et représentée par une majorité d'enfants.

6.2.2 Variation continue de timbre

Le rythme R9 Graphisme pointu peut également être qualifié de protorythme du fait de sa simplicité, un seul critère évoluant durant l'item scindé en deux parties : une série de frappes régulièrement espacées et de hauteurs progressivement descendantes est séparée par un silence nettement perceptible d'une seconde série de frappes de hauteurs progressivement ascendantes.



Exemple musical 99: Rythme 9 " Graphisme 1 Pointe "

D'autres rythmes varient également en timbre et en hauteur perçue mais des propriétés rythmiques plus saillantes apparaissent dans les représentations graphiques. L'évolution descendantes-ascendantes des hauteurs perçues dans R9 correspond en fait à l'inverse du graphisme pointu, traçage ascendant-descendant, qui en a été l'inspiration.

Dynamique graphique

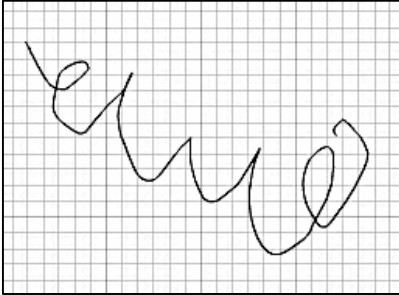
80% de productions présentent des patterns cinétiques qui correspondent à la régularité temporelle des frappes (Cf. Annexe VI 6.2.2). La vitesse est également régulière dans la majorité des cas. L'analyse des résultats n'indique donc pas d'effet de l'évolution des hauteurs sur la dynamique graphique.

Forme graphique

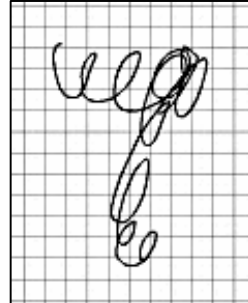
Les graphismes produits sur R9 sont alignés dans 95% des cas.

Dans la moitié des productions, le tracé est en rapport avec les hauteurs perçues. L'évolution des hauteurs confère un aspect sonore symétrique à ce rythme qui est représenté dans 40% des productions :

R9G02CT

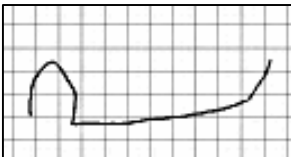


R9F05CH

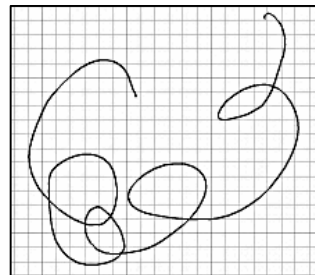


Outre l'aspect symétrique de l'évolution graphique, deux productions pourraient représenter spatialement l'évolution des hauteurs par la direction descendante puis ascendante de la trajectoire (Cf. pdf pencasts rythme 9 R9G06EGC et R9F04VF), mais ceci reste de l'ordre de l'interprétation :

R9G06EGC

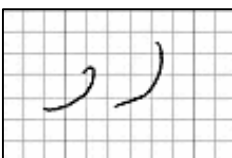


R9F04VF

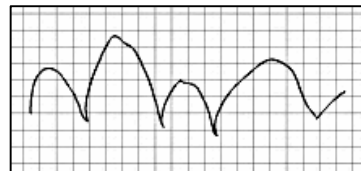


Les représentations suivantes n'indiquent pas la sensation auditive de hauteurs des frappes. Trois productions présentent la simple reproduction du nombre identique de frappes et les deux parties du rythme scindées par un silence par un motif graphique translaté :

R9F03CC

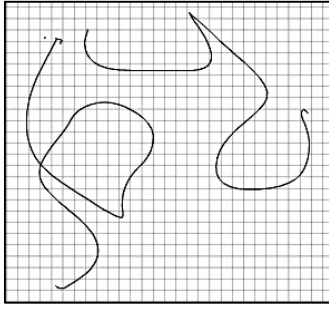


R9G01AL

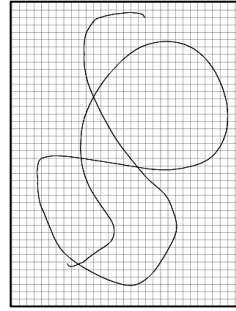


50% des productions séparent en deux le graphisme, disjoint ou discontinu, suivant les deux fragments sonores :

R9F07LB Disjoint

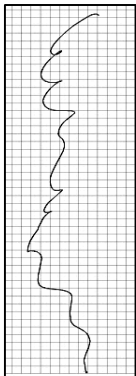


R9G05TM Discontinu

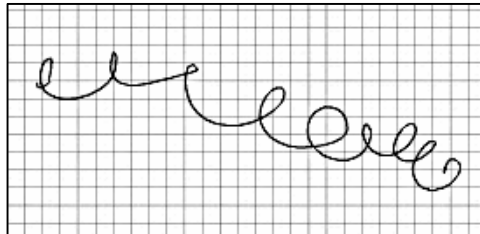


40% des productions se synchronisent avec les frappes mais sans précision sur les hauteurs perçues :

R9G06MB



R9F04CKB



Bilan

La production de graphismes symétriques est un moyen efficace de traduire spatialement l'évolution de hauteur dont l'usage est surprenant chez ces enfants de cinq ans qui ne maîtrisent pas encore cette notion.

6.2.3 Groupement de frappes par effet de timbre

Les quatre rythmes R1 Trot, R3 Grand galop, R6 Tourner, R8 Tournoyer présentent des groupements rythmiques par effet de timbre, sans effet de pause entre ces groupes¹¹ (Cf. Annexe VI 6.2.3).

¹¹ C'est également le cas de R17 Cycle *accelerando*, R18 Cycle *rallentando* et R19 Retard final mais ces rythmes présentent également un changement de tempo qui est un critère plus saillant dans les productions graphiques.

1 Trot 3.6

Habib Yammine

Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 100: Rythme 1 « trot »

3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 101: Rythme 3 « Grand galop »

6 Tourner 4

♩ = 120

Exemple musical 102: Rythme 6 « Tourner »

8 Tournoyer 3.1

♩ = 55

Exemple musical 103: Rythme 8 « Tournoyer »

Dynamique graphique

90% des patterns cinétiques graphiques sont tracés sur R3 Grand galop qui combine un tempo élevé et une cyclicité. La vitesse graphique est très régulière et très élevée dans 40% des productions. 25% des productions accélèrent alors que les motifs sont régulièrement espacés dans le temps. R8 Tournoyer engendre des productions graphiques aux caractéristiques dynamiques très proches de R3. Le taux de productions exactement synchrones avec des éléments rythmiques est élevé : 40% pour R3 et 30% pour R8, avec 80% de synchronisation sur la pulsation pour R3, 40% sur la pulsation et 35% sur la demi-pulsation pour R8.

Forme graphique

La périodicité du graphisme est largement supérieure à la moyenne pour R1, R3, R6 et R8 (75%). Elle correspond à la périodicité des frappes ou des motifs rythmiques dont la grande simplicité semble faciliter la perception et la représentation. Les formes graphiques sont plus souvent continues sur R3 et R8 (45%), correspondant à une fréquence de frappes élevée. Les tracés sont plus discontinus sur R1 et R6, rythmes qui présentent une fréquence de frappes faible.

A la répétition des motifs rythmiques correspond une seule forme graphique dont la taille est plutôt constante (70%), avec quelques cas de productions de taille croissante pour R3 (25%), R6 (20%) et R8 (35%), probablement dû à un effet d'entraînement.

Bilan

Les motifs rythmiques, groupements par effet de timbre, de ces rythmes sont représentés par une majorité d'enfants qui les font coïncider avec leurs mouvements graphiques et produisent des motifs graphiques périodiques.

6.3 Durées et organisation des durées

Comment l'organisation des durées est-elle perçue et représentée graphiquement par l'enfant de cinq ans ? Quels effets ces propriétés rythmiques produisent-elles sur la dynamique et la forme du graphisme ?

Les hypothèses initiales sont les suivantes :

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
IOI						
	Court	→	Rapide	Continu	Petite	Courbe
	Long	→	Lente	Discontinu	Grande	Anguleux
Irrégularité/ structure	- Syncope - Cycle tronqué	→	Irrégulière	Discontinu, disjoint		
Régularité/ structure	IOI constants	→	Régulière		Constante	Motif
Organisation des durées						
	Silence	→	Arrêt	Discontinu disjoint		Absence
	Groupement	→	Pattern cinétique			Motif
	Tempo :					
	Modéré	→	Lente	Discontinu		Anguleux
	Rapide	→	Rapide	Continu		Courbe
	<i>Accelerando</i>	→	Accélération +++		Croissante	
	<i>Accelerando</i> rapide	→	Accélération ++++			
	<i>Rallentando</i>	→	Ralentissement ++		Décroissante	
	<i>Rallentando</i> rapide	→	Ralentissement +++			
Irrégularité/ périodicité	- <i>Rubato</i> - Retard final	→	Irrégulière Ralentissement			

Tableau 65: Hypothèses sur l'effet de l'organisation des durées du rythme sur le graphisme

Ces hypothèses sont testées avec des rythmes dont les propriétés d'organisation des durées sont les principales caractéristiques et dont on peut comparer les effets sur les comportements graphiques des enfants.

6.3.1 Durées des intervalles entre les frappes : IOI réguliers courts *versus* longs

On compare l'effet sur les productions graphiques de différents IOI réguliers des six rythmes suivants (Cf. Annexe VI 6.3.1) :

Rythme	Fréquence de frappes	Autres paramètres sonores
R10 Graphisme boucle	15	Intensité
R12 Graphisme alpha	10	Timbre
R5 Elan-saut	10	Accent
R6 Tourner	7	Timbre
R9 Graphisme pointe	5	Timbre et silence
R1 Trot	3	Timbre

Tableau 66: Fréquence de frappes décroissante des rythmes 10, 12, 5, 6, 9, 1

10 Graphisme 2 Boucle 2.9

Exemple musical 104: Rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »

12 Graphisme 4 Alpha 4.5

Exemple musical 105: Rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »

5 Elan-Saut 3.6

Exemple musical 106: Rythme 5 « Elan-Saut »

6 Tourner 4

Exemple musical 107: Rythme 6 « Tourner »

9 Graphisme 1 Pointe 3.8

Exemple musical 108: Rythme 9 « Graphisme 1 Pointe »

1 Trot 3.6

Exemple musical 109: Rythme 1 « Trot »

Dynamique graphique

Une fréquence de frappes très élevée ou, au contraire, très basse (R10 avec des IOI courts et des frappes peu différenciées ou R1 avec des IOI longs) ne favorise pas la production de patterns graphiques cinétiques.

Les rythmes à IOI courts (R12 et R5) engendrent des productions de vitesse élevée dans plus de 50% des cas, contrairement aux rythmes avec des IOI longs (10% sur R9). La vitesse tend à être plus irrégulière sur les items de fréquence de frappes élevée.

Forme graphique

La périodicité graphique ne semble pas en lien avec la fréquence de frappes.

Des IOI courts engendrent des formes périodiques continues.

Les IOI très courts ou très longs engendrent plus de formes continues et apériodiques (arabesques), de taille plus petite (moyenne ou petite) et plus souvent alignées.

Les IOI longs engendrent des graphismes plus discontinus.

Synchronisation

L'exacte synchronisation est supérieure avec des rythmes plus lents. Peu de productions graphiques parviennent à se synchroniser avec les frappes du rythme R10, vu leur très grande fréquence.

Bilan

La vitesse est l'élément graphique le plus lié à la fréquence de frappe. Elle est plus grande sur des rythmes à IOI courts et plus irrégulière sur des rythmes à IOI très courts ou très longs qui, par ailleurs, engendrent une moindre précision des formes graphiques.

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
IOI						
	Court	→	Rapide	Continu	Petite	Courbe
	Long	→	Lente	Discontinu	Grande	Anguleux
	<i>Très courts</i> <i>Très longs</i>		<i>Irrégulière</i>	<i>Continu et</i> <i>apériodique</i>	<i>Plus petite</i>	<i>Peu de</i> <i>motifs</i>

Tableau 67: Bilan des effets d'intervalles entre frappes courts *versus* longs sur le graphisme

6.3.2 Irrégularité *versus* régularité de la structure rythmique

6.3.2.1 Irrégularité *de/dans* la structure rythmique

On analyse les réactions graphiques enfantines suivant l'irrégularité rythmique *dans* la structure, R20 Syncope, et l'irrégularité rythmique *de* la structure, R21 Cycle tronqué (Cf. Annexe VI 6.3.2).

20 Syncope (Masmoudî Saghîr) 6.7

Exemple musical 110: Rythme 20 « Syncope »

21 Cycle tronqué 5.9

Exemple musical 111: Rythme 21 « Cycle tronqué »

Dynamique graphique

Le rythme syncopé R20 induit de nombreuses productions avec patterns cinétiques (70%) en dépit de la présence de syncopes. La vitesse est irrégulière dans 30% des cas et élevée tout au long de l'item dans 45% des cas.

De tous les rythmes testés, le rythme R21 avec ses trois cycles tronqués est celui qui engendre le moins de productions graphiques avec patterns cinétiques (45%) et le plus de productions avec une vitesse graphique irrégulière (60%).

Forme graphique

Sur R20 Syncope, les formes sont plutôt périodiques (70%), partagées entre formes continues et discontinues. Les graphismes sont généralement alignés (85%). En revanche, sur R21 Cycle tronqué, le taux de productions périodiques est parmi les plus faibles (50%). Le nombre de formes apériodiques est relativement important (20%). On relève un peu plus de formes graphiques différenciées en cours d'item (2 formes (25%)).

Ces rythmes engendrent peu de petites formes graphiques. La taille est constante (90%), le graphisme est joint (90%), discontinu (50%), avec des arrêts (10%) en début ou en fin d'items.

Synchronisation

Les enfants ne parviennent pas à synchroniser exactement le graphisme avec le son sur ces rythmes (10%) et l'on dénombre le plus de productions asynchrones sur ces rythmes irréguliers (30%). On relève toutefois une intention de synchronisation assez fréquente sur le rythme syncopé R20 (60%). Un seul enfant, R20G01RI, est parvenu à synchroniser exactement son graphisme avec les frappes.

Bilan

L'irrégularité rythmique liée à la syncope apparaît peu dans les productions graphiques qui restent relativement régulières, ignorant la frappe syncopée. En revanche, la troncation de la structure semble perturbante auditivement, suscitant un rare commentaire pendant le traçage : « *C'est bizarre...* », redoublé après la production graphique : « *C'est bizarre !!* » (R21G01AL), et graphiquement, puisqu'elle engendre une irrégularité dans certains traçages. L'irrégularité rythmique déstabilise les auditeurs et engendre une irrégularité graphique non synchrone avec le son. Les enfants semblent percevoir la troncation de la structure rythmique mais ne parviennent pas à repérer et à suivre graphiquement la régularité au sein de la structure.

6.3.2.2 Régularité versus irrégularité de structure rythmique

On compare les productions graphiques produites sur des rythmes de structure régulière, R2 Galop, R3 Grand galop, R5 Elan-saut, R6 Tourner, avec celles sur les deux rythmes précédents R20 Syncope et R21 Cycle tronqué (Cf. Annexe VI 6.3.2) :

2 Galop 4.2

♩ = 100

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 112: Rythme 2 « Galop »

3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 113: Rythme 3 « Grand galop »

5 Elan-Saut 3.6

♩ = 110

Exemple musical 114: Rythme 5 « Elan-Saut »

6 Tourner 4

♩ = 120

Exemple musical 115: Rythme 6 « Tourner »

On constate que les rythmes de structure régulière engendrent plus de graphismes avec des patterns cinétiques, une vitesse régulière, une périodicité des formes, jointes et continues. En outre, les rythmes avec des irrégularités de structure induisent des graphismes de plus grande taille, plus souvent discontinus et asynchrones.

Bilan

A la régularité de la structure rythmique correspond une régularité graphique cinétique et formelle.

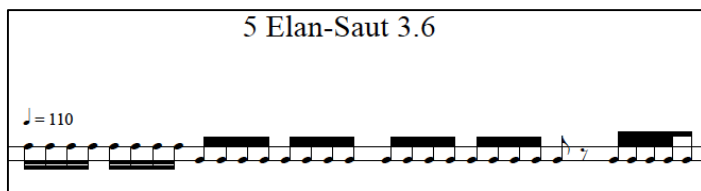
RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Irrégularité/ structure	- Syncope - Cycle tronqué	→	- Irrégulière - Très irrégulière	Discontinu, disjoint		- Peu de motifs - Formes variées par item
Régularité/ structure	IOI constants	→	Régulière	Continu et Joint	Constante	Motif

Tableau 68: Bilan des effets de l'irrégularité versus de la régularité de la structure rythmique sur le graphisme

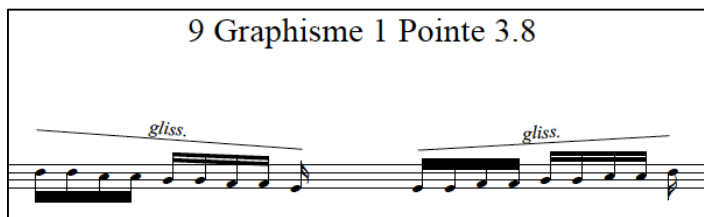
6.3.3 Groupements rythmiques

6.3.3.1 Groupement par effet de pause : perception d'un silence

Les frontières entre groupements peuvent être produites par une durée longue du dernier temps du groupement et/ou par un silence entre deux groupes qui produit un effet de pause. Les hypothèses sur les effets graphiques de groupement par effet de pause sont testées avec deux rythmes, R5 Elan-Saut et R9 Graphisme pointu, dont la césure sonore scinde l'item en deux groupes nettement distincts (Cf. Annexe VI 6.3.3.1).



Exemple musical 116: Rythme 5 « Elan-Saut »



Exemple musical 117: Rythme 9 « Graphisme 1 Pointe »

Le R5 Elan-saut a un silence d'environ 0,8 s en fin d'item, après la « course d'élan ». Cette pause figure un « saut », une suspension suivie d'une vive terminaison rythmique qui illustre la « chute ». Ce silence se traduit par un arrêt du traçage dans 95% des cas, avec un graphisme discontinu (55%) ou disjoint (40%).

Le R9 Graphisme pointu a un silence d'environ une seconde, en milieu d'item. Il constitue le centre de symétrie de deux groupes de frappes régulièrement espacées dont la hauteur est descendante puis ascendante. Conformément à R5, l'arrêt des frappes se traduit par un arrêt du traçage (95%), avec un graphisme discontinu (60%) ou disjoint (30%).

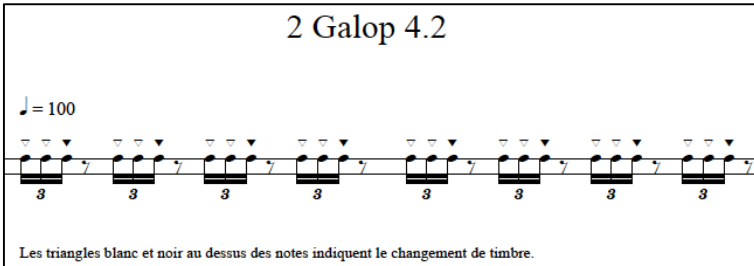
Bilan

La presque totalité des sujets réagit en interrompant son mouvement graphique durant le silence, la majorité maintient l'appui du stylo sur la feuille, attendant la seconde partie du rythme pour reprendre le traçage.

6.3.3.2 Groupement par effet de pause, d'accent et de timbre

On compare également deux rythmes R2 Galop et R19 Retard final dont les groupements s'effectuent par effet de pause, d'accent et de timbre (R2) et par effet d'accent et de timbre (R19). Les pauses entre les motifs de R2 constituent une différence saillante¹² entre les deux rythmes (Cf. Annexe VI 6.3.3.2).

2 Galop 4.2

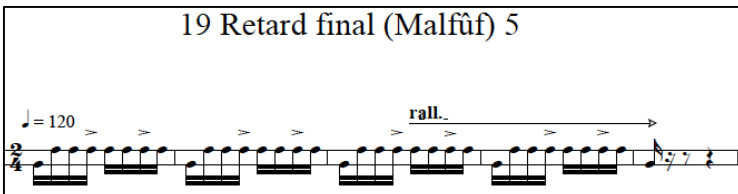


♩ = 100

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 118: Rythme 2 « Galop »

19 Retard final (Malfûf) 5



♩ = 120

rall.

Exemple musical 119: Rythme 19 « Retard final »

Dynamique graphique

Ces deux rythmes sont représentés par des patterns cinétiques dans plus de 70% des cas. La vitesse graphique est bien plus élevée sur R19 Retard final que sur R2 Galop, et supérieure à 50 cm/s dès le début du rythme dans 40% des productions. Cette célérité est liée au grand nombre de frappes (33 pour R19 et 14 pour R2) et à leur fréquence constante et élevée. En revanche, sur R2, la régularité des motifs rythmiques isolés par un silence séparant nettement les groupes tendent à réguler et ralentir la vitesse du graphisme.

Forme graphique

R2 Galop est représenté par des formes périodiques, discontinues (20%) et disjointes (10%), liées à la répétition des motifs rythmiques bien séparés par une pause et par l'effet de hauteur. Le graphisme est discontinu (40%). L'espace est maîtrisé avec un alignement du graphisme (80%) dont la taille est constante (90%).

Sur R19 Retard final, les formes sont périodiques et continues dans 40% des cas. Dans 25% des cas, les formes apériodiques et jointes sont liées à la grande fréquence de frappes et

¹² Par ailleurs, R2 est constitué de 14 frappes organisées en motifs rythmiques répétés ponctués de silence ; R19, de 33 frappes continues dont les motifs émanent de variation par accentuation des frappes.

aux motifs rythmiques continus. Ce rythme est représenté avec une seule forme graphique (80%), de taille grande (35%) et moyenne (60%).

Bilan

La discontinuité rythmique avec la pause inter-groupes du rythme R2 Galop est bien perçue et représentée par des mouvements périodiques avec discontinuité graphique. Le rythme R19 Retard final est inducteur de mouvements périodiques continus, rapides, correspondant aux motifs rythmiques continûment enchaînés.

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Organisation des durées						
	Silence	→	Arrêt	Discontinu disjoint		Absence
	Groupement	→	Pattern cinétique			Motif

Tableau 69: Bilan des effets de groupements rythmiques sur le graphisme

6.3.4 Tempi constants

Les hypothèses de l'effet sur le graphisme de propriétés rythmiques liées au tempo sont testées par comparaison de quatre rythmes dont les tempi constants évoluent de rythme *andante* à rythme *presto*, qui, par ailleurs, ont des motifs séparés par des silences : R1 Trot, R4 Sept sauts, R2 Galop, R3 Grand galop (Cf. Annexe VI 6.3.4).

1 Trot 3.6

Habib Yammine

Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 120: Rythme 1 « Trot »

4 Sept sauts 4.2

♩ = 80

Exemple musical 121: Rythme 4 « Sept Sauts »

2 Galop 4.2

♩ = 100

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 122: Rythme 2 « Galop »

3 Grand galop 3

♩ = 140

Les triangles blanc et noir au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 123: Rythme 3 « Grand galop »

Dynamique graphique

La formation de patterns graphiques est liée aux motifs : le taux de productions est croissant suivant l'augmentation de tempo d'un rythme à l'autre : R1 (60%), R4 (80%), R2 (75%) et R3 (90%).

La vitesse graphique est élevée dans 40% des productions sur le *presto*.

Plus le tempo est rapide, plus la vitesse est régulière (R4, R2 et R3). Toutefois, alors que les propriétés rythmiques n'évoluent pas durant ces items, 25% des productions montrent une accélération importante sur les tempi les plus rapides de R2 et R3.

Forme graphique

Un tempo lent engendre des formes graphiques plus discontinues qu'un tempo rapide.

La taille est croissante sur le tempo *presto*.

Synchronisation

La synchronisation est plus souvent exacte et peut être plus précise en cours d'item sur le tempo *presto*. Elle s'appuie majoritairement sur la pulsation.

Bilan

Les critères graphiques d'évolution de la vitesse et de la taille sont liés au tempo du rythme : ils sont croissants d'un tempo modéré à rapide.

RYTHME		→	GRAPHISME		
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude
Organisation des durées					
	Tempo :				
	Modéré	→	Lente	Discontinu	Anguleux
	Rapide	→	Rapide <i>Accélération</i>	Continu	<i>Croissante</i> Courbe

Tableau 70: Bilan des effets d'un tempo modéré ou rapide sur le graphisme

6.3.5 Variations continues du tempo

6.3.5.1 *Accelerando*

Deux rythmes sont comparables avec des cycles s'accélération régulièrement : R7 Tourner en accélérant et R17 Cycle *accelerando*, R7 pouvant être qualifié de protorythme avec un motif réalisé par la simple variation de hauteur de frappes (Cf. Annexe VI 6.3.5.1).

7 Tourner en accélérant 6

♩ = 90 - 118 - 148

accel. poco accel. molto accel.

Exemple musical 124: Rythme 7 « Tourner en accélérant »

17 Cycle *accelerando* (Gubbâhî) 4.8

accel. poco accel. molto accel.

Exemple musical 125: Rythme 17 « Cycle *accelerando* »

Dynamique graphique

Les productions graphiques sont assez similaires, R7 étant plus représentatif avec
- 60% de productions avec vitesse élevée (R17 : 50%)

- 30% de productions avec une vitesse très élevée (R17 : 30%)
- 90% de productions avec accélération graphique (R17 : 70%)
- une accélération plus forte rapidement dans 40% des cas (R17 : 30%)

Forme graphique

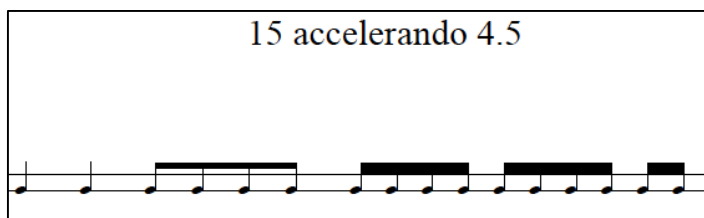
- 90% de forme graphique unique (R17 70%, plus représenté par 2 formes (30%))
- une taille plus grande sur R7 mais plus constante pour R17 (60%) (R7 : 45%)
- un accroissement de la taille accompagnant l'accélération (R7 : 45%, R17 : 40%)
- un graphisme joint et continu (un peu plus sur R17 que sur R7)

Synchronisation

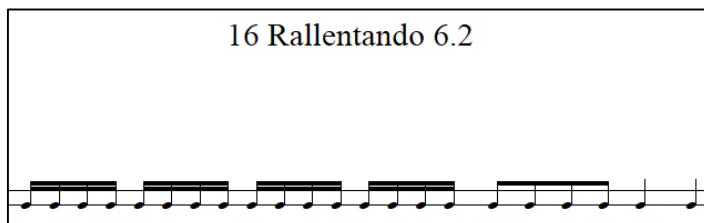
Elle est plus performante sur R17 (65%) que sur R7 (30%). Les productions sont plus asynchrones sur R7 (20%) alors qu'aucune ne l'est sur R17. La désynchronisation en cours d'item est plus importante pour R7 (40%) que pour R17 (30%).

6.3.5.2 Protorythmes *Accelerando* versus *Rallentando*

On compare les productions graphiques issues de l'écoute de deux protorythmes opposés suivant la variation du seul paramètre de fréquence de frappes régulièrement¹³ croissante ou décroissante : R15 *Accelerando* (IOI décroissants, fréquence de 1 à 7) versus R16 *Rallentando* (IOI croissants, fréquence de 7 à 1) (Cf. Annexe VI 6.3.5.2)



Exemple musical 126: Rythme 15 « *Accelerando* »



Exemple musical 127: Rythme 16 « *Rallentando* »

¹³ Les transcriptions sont éloignées des deux protorythmes qui ont des intervalles entre les frappes augmentant ou diminuant régulièrement.

Dynamique graphique

R15 et R16 engendrent un fort taux de productions avec patterns cinétiques.

L'accélération graphique se produit suivant l'accélération des frappes du R15 *Accelerando* (90%). A l'exact opposé, la décélération se produit régulièrement sur tout l'item R16 *Rallentando* (90%).

La vitesse graphique est élevée, dépassant 50 cm/s dès le début de l'item dans 75% des productions sur R15 *Accelerando*. Cette célérité graphique initiale est sans rapport avec la fréquence de frappes faible en début d'item. La première écoute du rythme a probablement influencé la dynamique graphique de l'auditeur avec la perception de grande vitesse sonore de la fin de l'item. Le rythme *rallentando* engendre une vitesse graphique initiale très élevée dans 60% des productions graphiques, conformément à la grande fréquence de frappes.

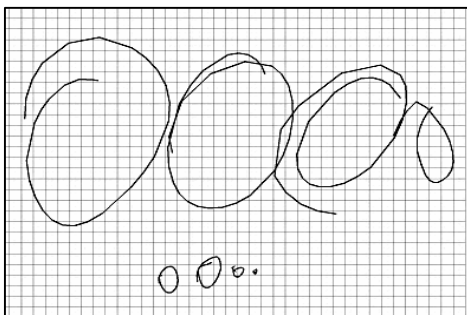
Forme graphique

Les formes tracées durant l'écoute de ces deux rythmes sont majoritairement périodiques et jointes. Quelques productions supplémentaires sur le *rallentando* sont discontinues et présentent des arrêts de traçage en fin d'item.

Le nombre important de formes périodiques disjointes sur l'*accelerando* s'explique par la faible fréquence de frappes initiale qui laisse la possibilité de tracer des formes isolées.

La taille et son évolution durant l'item semblent liées à la fréquence de frappes. Les graphismes sont de plus grande taille sur le *rallentando*, en lien avec la grande fréquence de frappes initiale. La taille est croissante sur l'*accelerando* dans 45% des cas, la vitesse étant corrélée à l'amplitude de la forme graphique. Inversement la taille décroît dans 40% des productions sur le *rallentando*. On trouve des cas de taille décroissante sur l'*accelerando* (20%) : la diminution de taille permet de tracer une même forme graphique plus rapidement et de rester graphiquement synchrone avec la fréquence de frappes qui croît. La représentation ci-dessous a été tracée de gauche à droite. Elle illustre l'*Accelerando* par une taille de graphisme décroissante.

R15F09KP



Les graphismes sont un peu plus souvent alignés sur l'*accelerando* (65% contre 55% sur R16 *rallentando*) et diffus sur le *rallentando* (35% contre 20% sur R15 *accelerando*). On dénombre plus d'arrêts en fin de *rallentando* qu'en début d'*accelerando*.

Synchronisation

Elle est légèrement supérieure sur le *rallentando*. L'*accelerando* engendre plus de désynchronisation (20%) que le *rallentando* (5%). La synchronisation s'appuie sur les frappes puis sur la fréquence de frappes suivant l'accélération rythmique, ou inversement, suivant la décélération du rythme.

Bilan

La vitesse et la taille sont les deux éléments dynamiques et formels du graphisme les plus en lien avec l'évolution régulière des IOI décroissants ou croissants. Une augmentation de fréquence de frappes engendre une accélération du mouvement graphique et une amplitude croissante du tracé à l'opposé d'une diminution de fréquence de frappes qui provoque une décélération et une amplitude graphique décroissante. Sur le plan de la vitesse, on constate que la réaction graphique est opposée et symétrique. Il n'y a pas de difficulté à décélérer, contrairement à l'hypothèse émise précédemment quant à la diminution de l'intensité du rythme et au moindre ralenti sur le R14 *Decrescendo*, comparé à l'accélération sur le R13 *crescendo*. L'aisance à décélérer sur un *rallentando* peut provenir d'un effet d'apprentissage et d'un meilleur contrôle du geste graphique acquis en cours de passation. Il est également probable qu'un *rallentando* soit plus immédiatement perçu et engendre des réactions graphiques mieux adaptées en temps réel, contrairement au *decrescendo*. D'autres recherches sont encore nécessaires pour déterminer si les propriétés rythmiques de fréquence sont réellement plus appariées que des propriétés d'intensité.

6.3.5.3 Rythmes Cycle *accelerando* versus Cycle *rallentando*

On compare les productions graphiques suivant l'écoute des deux rythmes cycliques avec évolution de tempo opposée, R17 Cycle *accelerando* (de 90 à 140 bpm) et R18 Cycle *rallentando* (de 140 à 80 bpm) (Cf. Annexe VI 6.3.5.1).

17 Cycle accelerando (Gubbâhî) 4.8

Exemple musical 128: Rythme 17 « Cycle *accelerando* »

18 Cycle Rallentando (Gubbâhî) 4.5

Exemple musical 129: Rythme 18 « Cycle *rallentando* »

Dynamique graphique

Plus de productions décélèrent sur R18 Cycle *rallentando* (85%) qu'elles n'accélèrent sur R17 Cycle *accelerando* (70%). Cependant, contrairement au protorythme R16 *Rallentando* qui engendre un ralentissement du geste graphique immédiat et continu sur l'item, R18 Cycle *rallentando* (4,5 s) provoque initialement un mouvement graphique vif qui ne ralentit qu'après 3 secondes d'écoute environ ; quelques productions ralentissent même très tardivement, avec une rupture de vitesse en toute fin d'item. Une seule production ralentit exactement durant tout l'item (R18G09VL). La cyclicité du rythme est sans doute responsable de la grande vitesse graphique en début d'item (35% de vitesse très élevée sur R18) et, par conséquent, de ce long temps de réaction graphique au *rallentando*. De façon plus attendue, le R17 Cycle *accelerando* engendre 45% de productions de vitesse très élevée liée à sa cyclicité et conformément à l'accélération du tempo. La vitesse est plus irrégulière sur le R17 Cycle *accelerando* (15%) (5% sur R18).

Forme graphique

Les formes apériodiques jointes sont plus nombreuses sur R18 (20%) que sur R17 (10%). Les formes changent plus en cours d'item sur R17 (30% ont 2 formes, 20% sur R18).

La taille est plus constante sur R17 (60%) que sur R18 (35%). Elle décroît plus sur R18 (50%) qu'elle ne croît sur R17 (40%).

Le graphisme est globalement joint et continu sur les deux rythmes. Toutefois, 10% de productions sur R18 présentent des arrêts du traçage en fin d'item alors qu'il n'y a pas d'arrêt de traçage au début de R17.

Synchronisation

30% des productions se désynchronisent sur le R17 Cycle *accelerando*.

La synchronisation graphique sur R17 s'établit majoritairement sur la pulsation ; les éléments rythmiques de synchronisation sont plus variés et instables sur R18.

Bilan

Avec un tempo accélérant ou ralentissant régulièrement, R17 et R18 engendrent des réponses graphiques opposées, avec une modification de la vitesse et de la taille. La cyclicité des rythmes vient sans doute modérer ces réponses motrices un peu moins fortes que sur les protorythmes R15 *Accelerando* et R16 *Rallentando*. On constate également une légère asymétrie des réponses graphiques sur R17 et R18, avec plus de réactions liées à la décélération qu'à l'accélération de tempo.

6.3.6 Variations discontinues de tempo

6.3.6.1 IOI décroissants versus croissants irrégulièrement

- Cycle enrichi *versus* cycle épuré

Les rythmes R22 Cycle enrichi (95 bpm, avec des IOI décroissants : fréquence de frappes de 3 puis 8 puis 22) *versus* R23 Cycle épuré (95 bpm, avec des IOI croissants : fréquence de frappes de 20 puis 7 puis 3) peuvent donner à l'auditeur une impression d'accélération et de décélération du rythme durant l'item, avec des IOI croissants *versus* décroissants irrégulièrement (Cf. Annexe VI 6.3.6.1).

22 Cycle enrichi (Maqsûm) 7

Exemple musical 130: Rythme 22 « Cycle enrichi »

23 Cycle épuré (Maqsûm) 6.7

Exemple musical 131: Rythme 23 « Cycle épuré »

Dynamique graphique

Le rythme R23 Cycle épuré engendre plus de productions de vitesse élevée (50%) comparé à R22 Cycle enrichi (30%). Le nombre de productions décélérant sur R23 est plus important (80%) que les productions accélérant sur R22 (65%).

Forme graphique

Les graphismes produits sur R22 Cycle enrichi sont joints (90%) et discontinus (45%) avec des arrêts en début d'item (30%) tandis qu'ils sont joints (65%) et continus sur R23 Cycle épuré (45%) avec des arrêts fin d'item (50%). La taille est plus souvent décroissante sur R23 (35%) que croissante sur R22 (20%).

Bilan

De même que pour les rythmes R17 Cycle *accelerando* et R18 Cycle *rallentando*, les rythmes R22 Cycle enrichi et R23 Cycle épuré engendrent des réactions graphiques opposées en termes d'évolution de vitesse et de variation de taille, et asymétriques, plus fortes sur R23 que sur R22. Cette réactivité graphique à la décélération du rythme peut être due à l'ordre de présentation des items et à l'effet d'apprentissage sur la passation, avec la répétition des items qui sensibilisent l'enfant à l'évolution de la fréquence de frappes des patterns rythmiques.

- **Comparaison des rythmes R22 et R23 avec les protorythmes R15 et R16**

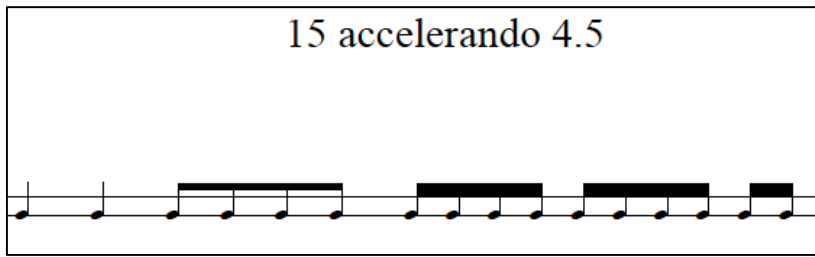
Durant la passation, les rythmes R22 Cycle enrichi et R23 Cycle épuré sont présentés à distance des protorythmes R15 *Accelerando* et R16 *Rallentando*, ce qui permet de vérifier la stabilité des réactions graphiques.

22 Cycle enrichi (Maqsûm) 7

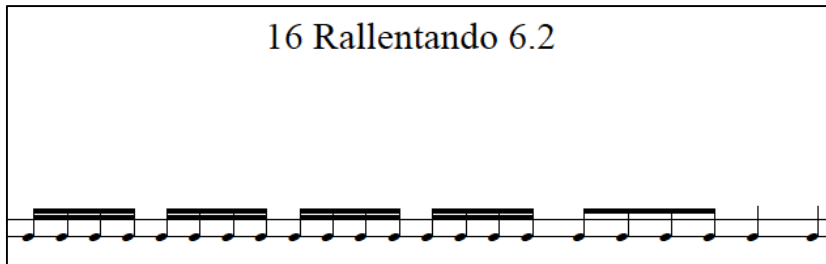
Exemple musical 132: Rythme 22 « Cycle enrichi »

23 Cycle épuré (Maqsûm) 6.7

Exemple musical 133: Rythme 23 « Cycle épuré »



Exemple musical 134: Rythme 15 « *Accelerando* »



Exemple musical 135: Rythme 16 « *Rallentando* »

Dynamique graphique

R22 Cycle enrichi engendre une activité graphique équivalente à celle produite sur R15 *Accelerando*, et R23 Cycle épuré à R16 *Rallentando*. Toutefois, les rythmes cycliques engendrent des vitesses graphiques moindres et plus irrégulières que les protorythmes : les productions accélèrent moins sur R22 (65%) que sur R15 (90%) et décélèrent moins sur R23 (80%) que sur R16 (90%).

Forme graphique

On note quelques différences liées à la cyclicité des rythmes. Comparés à R15 *Accelerando* et R16 *Rallentando*, R22 Cycle enrichi et R23 Cycle épuré présentent :

- relativement peu de formes périodiques : R22 (35%), R23 (40%) contre R16 (55%), R17 (65%) ;
- 2 formes graphiques successives : R22 (40%), R23 (25%) contre R15 (70%), R16 (75%), ou 3 formes (20% sur R23) ;
- une taille plus constante pour R22 (80%), quelques cas de diminution de taille sur R23 (35%) et de croissance de taille sur R22 (20%) ;
- des graphismes sensiblement plus alignés et moins continus ;
- des arrêts moins fréquents au début des rythmes accélérant : R15 (20%), R22 (30%), contrairement aux arrêts en fin des rythmes ralentissant (R16 (35%), R23 (50%)).

Synchronisation

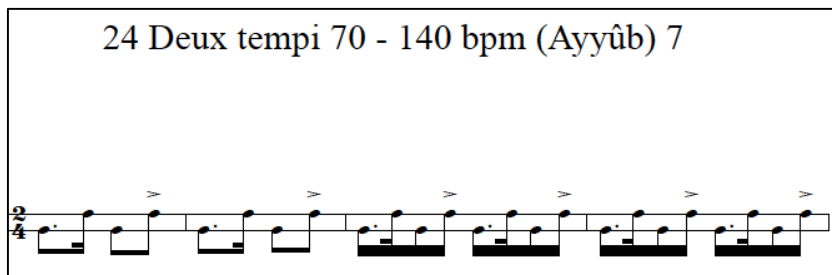
Comparé à R16 *Rallentando*, R23 Cycle épuré engendre moins de productions synchrones et plus de désynchronisation en cours d'item.

Bilan

On constate que toutes les réactions graphiques aux rythmes cycliques se produisent conformément aux réactions sur les protorythmes mais souvent dans une moindre proportion. La cyclicité des rythmes semble interférer avec la fréquence de frappes et modifier les propriétés graphiques résultantes.

6.3.6.2 Deux tempi successifs durant l'item

Le rythme R24 Deux tempi (70-140 bpm) permet de mesurer l'effet sur le graphisme d'un changement abrupt de tempo durant l'item composé de deux cycles d'une fréquence de trois frappes/s suivis de quatre cycles d'une fréquence de dix frappes/s (Cf. Annexe VI 6.3.6.2).



Exemple musical 136: Rythme 24 « Deux tempi 70-140 bpm »

Dynamique graphique

Le taux de productions avec patterns cinétiques est le plus élevé de l'expérience (90%), avec 80% de représentations avec des patterns graphiques lents puis rapides.

85% des productions ont une vitesse élevée. Dans 25% des cas, la vitesse très élevée dès le début de la production est due à un démarrage brusque du traçage sur la première frappe isolée du rythme.

90% des productions accélèrent durant la seconde partie rapide de l'item, atteignant des vitesses très élevées, nettement supérieures à 50 cm/s.

Forme graphique

Le changement de tempo engendre une diversification des formes : 50% des productions font appel à plusieurs formes graphiques (15% deux formes ; 35% trois formes). Ces formes sont discontinues puis continues.

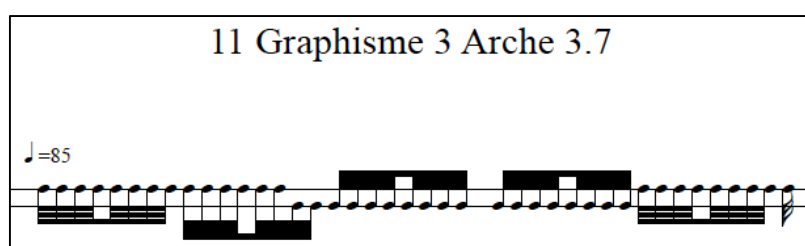
50% des productions ont des graphismes de taille croissante.

En comparaison des autres rythmes, le R24 engendre des graphismes moins alignés.

45% des productions marquent des arrêts dans le traçage dans la première partie *andante* où les frappes sont bien différenciées.

6.3.6.3 IOI croissants-décroissants durant l'item

Le rythme R11 Graphisme arche est caractérisé essentiellement par une fréquence de frappes élevée qui évolue de 15 à 10 puis de 10 à 15 durant l'item, avec un ressenti de décélération, de stabilisation puis d'accélération finale accompagné d'une sensible modification de timbre (Cf. Annexe VI 6.3.6.3).



Exemple musical 137: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

Dynamique graphique

La vitesse est élevée dans près de la moitié des productions, correspondant à la fréquence moyenne de frappes élevée durant l'item.

La vitesse est très élevée en début (20%) et milieu de production (15%), correspondant à la fréquence de frappes initiale très élevée. Cette vitesse est irrégulière (30%).

L'accélération graphique est fréquente, dans 40% des productions.

Forme graphique

Les productions périodiques sont souvent continues (50%). Le taux assez important de productions aperiodiques (25%) serait lié à une fréquence relativement élevée et à l'absence de motif rythmique ou de cyclicité.

La taille du graphisme est constante (60%) mais croissante dans 40% des cas.

Le traitement de l'espace est plus diffus (30%).

Le graphisme est systématiquement joint et continu (100%).

Bilan

La fréquence de frappes est élevée durant l'item. Elle incite à produire des mouvements graphiques de grande vitesse. La fréquence initiale élevée (15 frappes/s) provoque une accélération graphique immédiate qui, couplée à la brièveté du pattern, ne permet pas aux enfants de représenter graphiquement la variation des IOI probablement trop

subtile. Un item plus long, avec des IOI décroissants puis stables et enfin croissants, permettrait de tester plus efficacement la sensibilité des enfants à l'évolution de la fréquence de frappes.

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Organisation des durées						
	Tempo :					
	<i>Accelerando</i>	→	Accélération +++		Croissante	
	<i>Accelerando rapide</i>	→	Accélération ++++		Croissante +	
	<i>Rallentando</i>	→	Ralentissement ++++		Décroissante ++	
	<i>Rallentando rapide</i>	→	Ralentissement +++			

Tableau 71: Bilan des effets de la variation du tempo sur le graphisme

6.3.7 Déviation du contexte métrique : retard final

Le *rubato* et le retard final sont deux cas d'irrégularité rythmique de la périodicité, avec une déviation par rapport au contexte métrique. Seul le rythme R19 Retard final (fréquence de frappes globale de 8-9 et finale de 5) a été proposé car la durée des patterns est trop brève pour y intégrer une subtile déviation de tempo qui puisse être représentée graphiquement par ces jeunes auditeurs (Cf. Annexe VI 6.3.7).

19 Retard final (Malfûf) 5

Exemple musical 138: Rythme 19 « Retard final »

Dynamique graphique

Le mouvement graphique est rapide (55%). La vitesse très élevée en début de production (40%) correspond à la grande fréquence de frappes initiale. Le nombre important de productions avec décélération (55%) semble indiquer la perception du *rallentando* final.

Forme graphique

Dans 15% des cas, une seconde forme graphique est tracée durant l'item. 15% des productions présentent des arrêts du graphisme en fin d'item. La taille est moyenne (60%) et constante (80%).

Synchronisation

20% des productions se désynchronisent en cours d'item. Ces perturbations peuvent être liées à la grande fréquence de frappes ou au ralenti en fin d'item.

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Irrégularité/ périodicité	- <i>Rubato</i> - Retard final	→	Irrégulière Ralentissement	<i>Arrêts en fin d'item</i>		

Tableau 72: Bilan des effets du retard final sur le graphisme

6.4 Bilan général des effets de propriétés rythmiques sur le graphisme

6.4.1 Bilan des hypothèses opérationnelles

Une majorité des hypothèses concernant les effets de l'organisation de l'intensité et des durées du rythme sur le graphisme est vérifiée (Cf. tableau infra Propriétés graphiques notées en caractère gras). On indique les hypothèse invalidées (propriétés graphiques en caractère normal). L'on apporte quelques résultats supplémentaires (propriétés graphiques en gras italique). Les propriétés rythmiques testées sont en caractère gras et non testées en caractère non gras.

6.4.1.1 Effets de l'intensité et de son organisation sur les formes dynamiques graphiques

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
INTENSITÉ		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
Intensité absolue						
	<i>Piano</i>	→	Lente		Petite	
	<i>Forte</i>	→	Rapide		Grande	
Organisation de l'intensité						
	<i>Crescendo</i>	→	Accélération +++		Croissante ++	
	<i>Crescendo rapide</i>	→	Forte accélération			
	<i>Decrescendo</i>	→	Ralentissement ++		Décroissante +	
	<i>Decrescendo rapide</i>	→	Ralentissement	Arrêt		
Accentuation						
	- Faible - Uniforme	→	Constante <i>Irrégulière</i>	Continu, <i>Joint</i> Souple	Petite	Courbe
	- Forte - Variée	→	- Pattern cinétique - Variée	Discontinu, rigide, saccadé	Grande	Anguleux Motifs

Tableau 73: Bilan des effets de propriétés rythmiques d'intensité sur le graphisme

6.4.1.2 Effets du timbre sur les formes dynamiques graphiques

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
TIMBRE		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
	<i>Alternance</i>	→		<i>Changements d'orientation</i>		
	<i>Variations continues</i>	→				<i>Symétrie</i>
	<i>Groupements par effet de timbre</i>	→	<i>Patterns cinétiques</i>			<i>Motifs</i>

Tableau 74: Bilan des effets de propriétés rythmiques de timbre des frappes sur le graphisme

6.4.1.3 Effets des durées et de leur organisation sur les formes dynamiques graphiques

RYTHME		→	GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS			DYNAMIQUES		FORMELLES	
DURÉES		→	Vitesse	Traçage	Amplitude	Tracé
IOI						
	Court	→	Rapide	Continu	Petite	Courbe
	Long	→	Lente	Discontinu	Grande	Anguleux
	<i>Très courts</i> <i>Très longs</i>	→	<i>Irrégulière</i>	<i>Continu et aperiodique</i>	<i>Plus petite</i>	<i>Peu de motifs</i>
Irrégularité/ structure	- Syncope	→	- Irrégulière	Discontinu, disjoint		- <i>Peu de motifs</i> - <i>Formes variées par item</i>
	- Cycle tronqué	→	- Très irrégulière			
Régularité/ structure	IOI constants	→	Régulière	<i>Continu et Joint</i>	Constante	<i>Motif</i>
Organisation des durées						
	Silence	→	Arrêt	Discontinu disjoint		Absence
	Groupement	→	Pattern cinétique			Motif
	Tempo :					
	Modéré	→	Lente	Discontinu		Anguleux
	Rapide	→	Rapide <i>Accélération</i>	Continu	<i>Croissante</i>	Courbe
	<i>Accelerando</i>	→	<i>Accélération +++</i>		<i>Croissante</i>	
	<i>Accelerando rapide</i>	→	<i>Accélération ++++</i>		<i>Croissante +</i>	
	<i>Rallentando</i>	→	Ralentissement ++++		<i>Décroissante</i> ++	
	<i>Rallentando rapide</i>	→	Ralentissement +++			
Irrégularité/ périodicité	- <i>Rubato</i> - <i>Retard final</i>	→	Irrégulière Ralentissement	<i>Arrêts en fin d'item</i>		

Tableau 75: Bilan des effets de propriétés rythmiques de durées sur le graphisme

7 Phénomènes audio-moteurs

Dans la chronologie des phénomènes¹ sonores rythmiques et graphiques, on distingue trois phases successives dans les productions graphiques. La phase d'initiation graphique se produit avec le démarrage du traçage suite au départ du son (entre t1 R et t2 G). Elle est liée aux phénomènes d'induction motrice des rythmes et d'accordage initial avec la mise en phase du graphisme avec le son. La phase de synchronisation audiomotrice (entre t2 G et t3 R) s'étend durant toute la production graphique de l'enfant. Enfin, la phase de « persistance » graphique (entre t3 R et t4 G) est caractérisée par la prolongation du traçage après la cessation du son. C'est en quelque sorte un retard graphique par rapport à l'arrêt du son.

Cette phase finale ne pourra pas être analysée ici car les données issues du stylo électronique et la mesure de l'écart temporel entre l'arrêt du son et la cessation de l'activité de traçage ne sont pas fiables. On a simplement pu observer que l'arrêt du traçage paraît relativement indépendant des sujets, assez stable et rapide, contrairement au délai de démarrage graphique, et que sur les rythmes *rallentando* les enfants réagissent peu à cette propriété pendant l'item mais s'arrêtent plus rapidement que sur des tempi plus rapides.

L'analyse des productions graphiques en lien avec le rythme permet de préciser les propriétés rythmiques qui semblent les plus inductrices de mouvements graphiques et celles sur lesquelles s'appuie la synchronisation graphique, selon le genre et l'âge des sujets.

7.1 Induction motrice du rythme

L'initiation du traçage graphique est liée au phénomène d'induction motrice des rythmes qui engendre une réactivité motrice, mesurée par le temps de réaction, et une force

¹ On rappelle les étapes chronologiques d'enregistrement (E) par le stylo électronique des données numériques rythmiques (R) et graphiques (G) durant chaque production graphique :

t0E.....t1R.....t2G.....t3R.....t4G.....t5E

t0E : Instant de départ de l'enregistrement de l'environnement sonore par le stylo numérique déclenché par l'auditeur.

t1R : Instant de la première frappe du rythme.

t2G : Instant de départ du traçage : la pointe du stylo touche la feuille A4 pour la première fois.

t3R : Arrêt du rythme.

t4G : Arrêt du traçage : ces données sont peu fiables. Elles correspondent soit à la fin du traçage, soit à la fin de l'enregistrement général du stylo.

t5E : Arrêt de l'enregistrement sonore du stylo.

motrice, mesurée par la vitesse et la pression graphique. L'instant du démarrage du traçage dépend des propriétés des rythmes écoutés et des sujets eux-mêmes.

Le rythme peut être considéré comme un phénomène subi par le sujet, avec le cas de l'induction motrice qui est une réaction spontanée, hors de la conscience, un déclenchement moteur automatique, involontaire à l'audition de musique, et comme phénomène agi, avec le cas de la synchronisation – action par anticipation. Il est difficile de dissocier ces deux phénomènes qui interagissent probablement lors de cette phase d'initiation graphique. Toutefois, étant donné que les sujets ont entendu une première fois le pattern rythmique avant de le représenter graphiquement lors de leur seconde écoute, on peut supposer que la volonté de synchronisation sensorimotrice est forte dès l'initiation du traçage.

L'incitation motrice agit sur l'auditeur suivant certaines propriétés rythmiques. Peu de recherches expérimentales sont centrées sur l'induction motrice et sur les effets dynamogéniques de la musique, deux phénomènes bien connus sur le plan descriptif mais qui manquent encore d'explications scientifiques. Les processus attentionnels sont en question dans l'activité graphique liée à l'écoute de rythmes. Ces processus sont variables en fonction de la situation et de l'individu. Sur le plan de l'attention et des réactions du sujet à un signal, on distingue l'alerte, capacité à réagir rapidement à l'apparition d'un stimulus, et l'alerte phasique, qui correspond à la vitesse de réaction² face à un stimulus attendu. Étant donné que les enfants ont entendu une première fois le pattern rythmique avant de réagir graphiquement lors d'une seconde écoute, on étudie leur capacité d'alerte phasique. La réactivité du sujet à tracer un graphisme à l'écoute d'un pattern rythmique ne constitue pas l'objectif de l'expérience, ni l'objectif explicite de la consigne. Cependant, elle est en jeu dans l'activité de l'enfant qui réagit à un son avec plus ou moins de rapidité. Sa réactivité est calculée avec le temps de réaction, la latence³, *i.e.* le décalage temporel entre le début de l'item sonore et le début du traçage. On parlera de délai de démarrage du traçage par rapport au début du son, dont on analysera les variations suivant les rythmes auditionnés et suivant les sujets.

L'induction motrice des rythmes est analysée à partir des deux éléments suivants : le délai de démarrage du traçage avec le départ du son et la force motrice initiale mesurée via la vitesse de la pointe du stylo au démarrage du traçage.

² La vitesse de traitement de l'information permet de réagir de manière adéquate à un stimulus.

³ La latence en biologie est l'intervalle de temps entre le stimulus et la réponse comportementale.

7.1.1 Délais de démarrage du traçage

7.1.1.1 Calcul du délai de démarrage graphique

Les données audio de l'environnement sonore sont enregistrées durant l'expérience par le stylo numérique entre t_0 , l'instant de départ de l'enregistrement de l'environnement sonore par le stylo numérique déclenché par l'auditeur, et t_5 , l'arrêt de l'enregistrement sonore du stylo. Elles sont ensuite exportées dans le logiciel *Sonic Visualiser* qui permet de déterminer l'instant précis de la première frappe rythmique ($t_1 R$). Les données temporelles sont importées dans un tableau Excel afin de calculer le délai de démarrage graphique par rapport au début du son ($\Delta T = t_2 G - t_1 R$) pour chaque production graphique (33 enfants x 24 rythmes).

Enfant	Rythme	Départ du graphisme $t_2 G$ (ms)	Départ du rythme $t_1 R$ (ms)	$\Delta T = t_2 G - t_1 R$
F02AP	1	5198	4254	944
F03CC	1	6077	4304	1773
F02AP	2	3922	3267	655
F03CC	2	2130	1386	744

Tableau 76: Calcul du délai de démarrage graphique

L'instant de démarrage du rythme ($t_1 R$) succède de façon variable à l'instant ($t_0 E$) d'enregistrement du stylo qui est déclenché par l'enfant, puisque le CD est déclenché manuellement par l'expérimentateur dans un laps de temps variable entre t_0 et t_1 , ce qui peut influencer le temps de réaction graphique de l'enfant ($t_1 R$)⁴.

Dans quelques productions graphiques, le traçage graphique ($t_2 G$) précède l'audition du rythme ($t_1 R$) du fait de l'appui de la pointe du stylo sur la feuille A4, après le déclenchement de l'enregistrement $t_0 E$ du stylo et avant le départ du rythme ($t_1 R$), qui déclenche l'enregistrement du traçage ($t_2 G$). La chronologie des phénomènes s'en trouve modifiée :

$t_0 E$ **$t_2 G$** **$t_1 R$** $t_3 R$ $t_4 G$ $t_5 E$

Ceci engendre un délai de réaction graphique négatif ($\Delta T = t_2 G - t_1 R$).

L'analyse des cas d'anticipation du graphisme indique qu'elle est généralement due à l'appui prématuré du stylo sur le cahier non par inadvertance ou maladresse mais par anticipation, dans l'objectif d'une préparation au traçage et d'un accordage initial efficace. Le

⁴ Par exemple, un déclenchement rapide du son peut accroître le temps de réaction de l'enfant qui a nécessairement besoin d'un temps minimum de préparation du traçage graphique.


traçage graphique avec le son des rythmes reste valide ; seules, les données temporelles de démarrage du traçage sont perdues.

Les délais de démarrage du traçage par rythme sont calculés à partir des productions des 33 sujets. La moyenne des délais est établie à l'exclusion des valeurs extrêmes. Le recueil de ces données temporelles nécessiterait des instruments de mesure beaucoup plus précis⁵. Les valeurs absolues issues de cette expérience ne sont qu'indicatives. En revanche, les valeurs relatives, entre sujets, sont valides et fiables.

7.1.1.2 Effets dynamogènes des rythmes

La nature de la musique a des effets différenciés sur le mouvement de l'auditeur. Les effets dynamogènes des propriétés rythmiques présentés dans le cadre théorique précisent les principaux facteurs musicaux, l'intensité et l'accent, le mètre et la périodicité qui agissent de manière importante sur la motricité de l'auditeur. D'après les résultats de l'expérience, le délai moyen⁶ de démarrage graphique après le départ du son est d'environ 550 ms, la valeur minimale étant de 346 ms (rythme R5 Elan-saut), la maximale, de 850 ms (premier rythme R1 Trot).

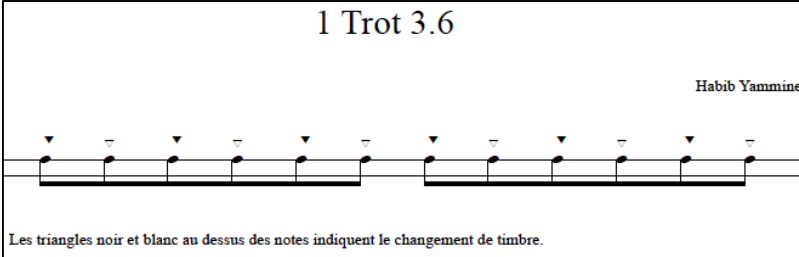
5 Elan-Saut 3.6



Exemple musical 139: Rythme 5 « Elan-Saut »

1 Trot 3.6

Habib Yammine



Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 140: Rythme 1 « Trot »

⁵ Différentes informations temporelles $t_2 G - t_1 R$ entrées dans le tableau ont été déduites par différentes opérations (par exemple, extraction des données temporelles de t_0 déclenchement de l'enregistrement audio, début de la diffusion du son avec les données audio numérique du stylo, et enfin données temporelles d'enregistrement).

⁶ Calculé en excluant les valeurs ≤ 0 (démarrage avant le son) et la valeur maximale.

Ces délais moyens de démarrage du traçage varient au cours de la passation, ce qui semble indiquer que les réactions motrices des enfants sont effectivement liées aux rythmes et à leurs propriétés (Cf. Annexe VIII : Délais de démarrage du traçage selon les sujets, par rythme).

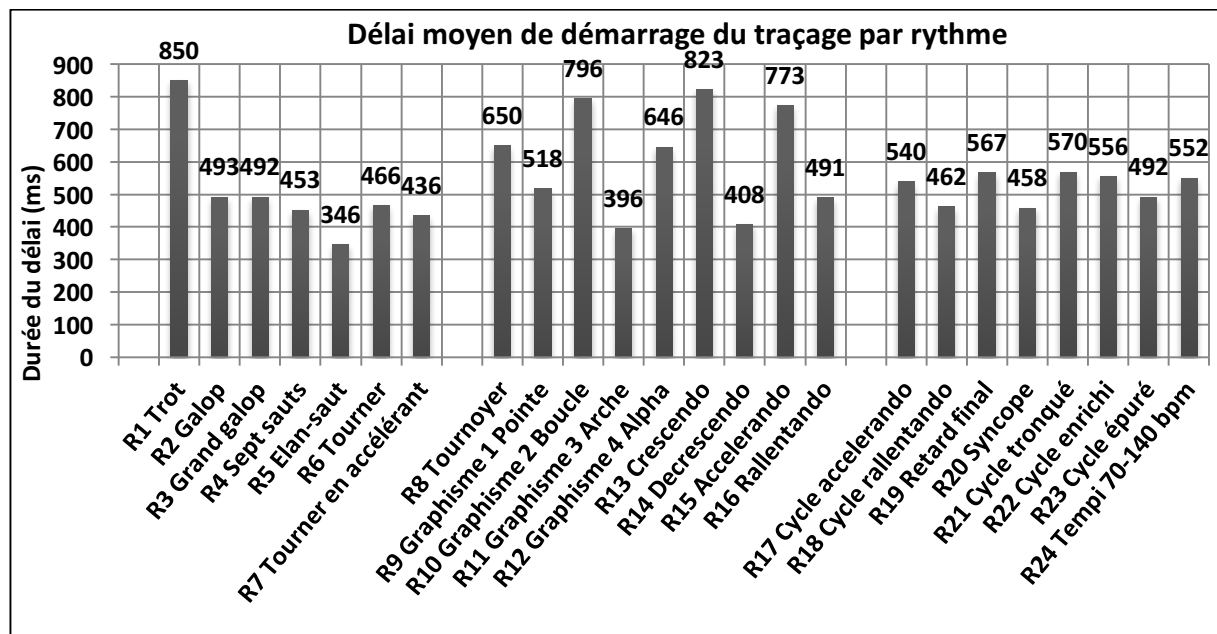


Figure 118: Délai moyen de démarrage du traçage par rythme

Trois groupes de rythmes se forment selon ces délais de démarrage du traçage :

- des rythmes 1 à 7 : en début d'expérience, les délais sont stables et courts, sous la moyenne, hormis pour le premier rythme R1 Trot. Ces rythmes sont donc parmi les plus dynamogènes. Deux causes possiblement conjuguées peuvent expliquer cette réactivité motrice. D'une part, elle peut être due à une attention accrue des enfants en début d'expérience, d'autre part, au caractère de mouvement qu'on a voulu attribuer lors de la création de ces items selon un terme évocateur de mouvement physique. La présentation renouvelée des items dans un ordre aléatoire permettrait de différencier ces deux causes, en vérifiant si ces rythmes, qu'ils soient écoutés en milieu ou en fin d'expérience, provoquent les mêmes effets dynamogéniques. L'analyse de leurs propriétés dynamo-agogiques (Cf. infra) indique que leurs qualités propres sont un important facteur de mouvements graphiques.

- des rythmes 8 à 16 : les délais sont instables et semblent liés, entre autre, à la célérité des frappes (R8 et R10) et à des rythmes opposés (R13 *Crescendo* versus R14 *Decrescendo* et R15 *Accelerando* versus R16 *Rallentando*).

- des rythmes 17 à 24 : les délais sont un peu moins courts et légèrement moins stables que ceux du premier groupe.

L'écart entre les délais extrêmes est important, de 500 ms en moyenne. 60% des rythmes engendrent des délais moyens de réaction graphique sous les 550 ms environ. Les rythmes R5, R11, R14 et R7 induisent des réactions graphiques rapides et présentent un caractère dynamogénique marqué, contrairement aux rythmes R1, R13, R10 et R15. Ces réactions graphiques initiales sont-elles en lien avec des propriétés rythmiques et lesquelles ?

Les propriétés dynamo-agogiques des rythmes les plus inducteurs de mouvements graphiques initiaux sont les suivantes :

Rythmes	R5 Elan-saut	R11 Graphisme arche	R14 <i>Decrescendo</i>	R7 Tourner en accélérant	R4 Sept sauts
Délais démarrage (ms)	346	396	408	436	453
Intensité perçue en début d'item (sone)	9	8-7	8-9	7	6
Fréquence de frappe en début d'item	10	15	3	6	15-3

Tableau 77: Propriétés des rythmes les plus inducteurs de mouvement

5 Elan-Saut 3.6

Exemple musical 141: Rythme 5 « Elan-Saut »

11 Graphisme 3 Arche 3.7

Exemple musical 142: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

14 Decrescendo 5

Exemple musical 143: Rythme 14 « Decrescendo »

7 Tourner en accélérant 6

♩ = 90 - 118 - 148

accel. poco accel. molto accel.

Exemple musical 144: Rythme 7 « Tourner en accélérant »

4 Sept sauts 4.2

♩ = 80

Exemple musical 145: Rythme 4 « Sept sauts »

Ces rythmes présentent au début de l'item et/ou une intensité *forte*, des frappes avec un caractère d'opposition marqué, des frappes accentuées en intensité ou hauteur, une fréquence de frappes élevée :

- la combinaison de la forte intensité des frappes et de la rapidité de tempo des deux rythmes R5 et R11 semble décupler leur effet dynamogène.
- le critère d'intensité au début du R14 *Decrescendo* est relativement puissant puisqu'il provoque à lui seul un effet moteur notable avec de brefs délais de traçage.
- le cas de R7 Tourner en accélérant ne présente ni de forte intensité ni de fréquence très élevée mais une cyclicité et une accélération qui, perçue lors de la première écoute, influence probablement le comportement graphique des auditeurs.

A contrario, d'autres rythmes sont bien moins inducteurs de mouvement graphique. Quelles sont leurs propriétés de ces rythmes ?

Rythmes	R1 Trot	R13 <i>Crescendo</i>	R10 Graphisme boucle	R15 <i>Accelerando</i>
Délais démarrage (ms)	850	823	796	773
Intensité perçue en début d'item (sone)	7,5-5,5	5	3	7
Fréquence de frappe en début d'item	3	3	17	1

Tableau 78: Propriétés des rythmes les moins inducteurs de mouvement

1 Trot 3.6

Habib Yammine

Les triangles noir et blanc au dessus des notes indiquent le changement de timbre.

Exemple musical 146: Rythme 1 « Trot »

13 Crescendo 4.4

pp *p* *mez.f* *f* *ff* *fff*

Exemple musical 147: Rythme 13 « Crescendo »

10 Graphisme 2 Boucle 2.9

p *f* *p* *f*

Exemple musical 148: Rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »

15 accelerando 4.5

Exemple musical 149: Rythme 15 « Accelerando »

La plus faible réactivité motrice à l'écoute du premier rythme peut s'expliquer par la phase d'initiation, de découverte de l'activité. L'effet d'apprentissage est très rapide : il est constaté dès le deuxième rythme chez l'ensemble des sujets, avec des délais de traçage bien moindres comparés à ceux du premier rythme. Les autres rythmes les moins inducteurs de mouvements sont ceux qui ont une intensité initiale *piano* (R13 et R10) puis ceux dont la fréquence de frappes est relativement faible (R15). D'autres rythmes présentent de moindres variations dynamo-agogiques et des frappes relativement moins accentuées qui limitent l'induction motrice chez les sujets (R10 Graphisme 2 boucle : frappes moins nettes, très

nombreuses ; R8 Tournoyer : frappes très nombreuses et rapides ; R12 Graphisme 4 alpha : frappes moins nettes, un peu sourdes).

L'opposition de rythmes selon leur intensité et leur fréquence de frappes met en évidence une induction motrice contrastée.

L'intensité initiale opposée dans les protorythmes R14 *Decrescendo* et R13 *Crescendo* engendre des réactions graphiques très différenciées sur le plan grapho-moteur. Ces réactions ne dépendent que de l'intensité perçue, la fréquence de frappe étant constante et relativement faible. La vivacité de réaction graphique serait donc provoquée par le *forte* au début du R14 :

Rythmes	R14 <i>Decrescendo</i>	versus	R13 <i>Crescendo</i>
Délais démarrage (ms)	408		823
Intensité perçue en début d'item (sone)	8-9		5
Fréquence de frappe en début d'item	3		3

Tableau 79: Délais de réactions graphiques et propriétés dynamiques de R14 *Decrescendo* et R13 *Crescendo*

On observe également un écart important entre les délais de réaction suscités par des items variant leur fréquence de frappes initiale, R16 *Rallentando* versus R15 *Accelerando*, tendant à confirmer le faible degré de spécification mais le haut degré de significativité des protorythmes :

	R16 <i>Rallentando</i>	versus	R15 <i>Accelerando</i>
Délais démarrage (ms)	491		773
Fréquence de frappe en début d'item	7		1
Intensité perçue en début d'item (sone)	9		7

Tableau 80: Délais de réactions graphiques et fréquence de frappes de R16 *Rallentando* et R15 *Accelerando*

Cet effet est principalement lié à la fréquence de frappes très différente entre les deux rythmes en début d'item ; il a pu être renforcé par la sensible différence d'intensité perçue entre ces deux rythmes en début d'item.

La cyclicité du motif rythmique dans les rythmes R17 Cycle *accelerando* et R18 Cycle *rallentando* est également un facteur d'incitation motrice chez l'auditeur :

	R18 Cycle <i>rallentando</i>	versus	R17 Cycle <i>accelerando</i>
Délais démarrage (ms)	462		540
Fréquence de frappe en début d'item	12		4
Intensité perçue en début d'item (sone)	9		8

Tableau 81: Délais de réactions graphiques et fréquence de frappes de R18 Cycle *rallentando* et R17 Cycle *accelerando*

Finalement, suivant les délais de réaction graphique, l'incitation motrice de ces six rythmes est décroissante comme suit :

Rythmes	R5 Elan- saut	R14 <i>Decrescendo</i>	R18 Cycle <i>rallentando</i>	R16 <i>Rallentando</i>	R17 Cycle <i>accelerando</i>	R15 <i>Accelerando</i>	R13 <i>Crescendo</i>
Délais démarrage (ms)	346	408	462	491	540	773	823
Intensité perçue en début d'item (sone)	9	8-9	9	9	8	7	5
Fréquence de frappes en début d'item	10	3	12	7	4	1	4

Tableau 82: Propriétés dynamo-agogiques des rythmes R5, R14, R18, R16, R17, R15 et R13 dans l'ordre décroissant d'incitation motrice

On constate que l'intensité perçue en début d'item, décroissante pour chaque rythme, est corrélée avec les délais de démarrage du graphisme. La fréquence de frappes initiale est également un facteur d'induction motrice. Des effets dynamogènes sont importants avec les rythmes cycliques, même lorsque leur fréquence de frappes est peu élevée en début d'item, comme avec le R17 *Cycle accelerando*. La combinaison des propriétés dynamo-agogiques des rythmes R5 Elan-saut et R18 *Cycle rallentando* produit un effet dynamogène. L'intensité perçue au début d'item semble donc être un facteur d'induction motrice déterminant. L'on observe un effet dynamogène renforcé par des propriétés dynamo-agogiques du rythme, avec, dans les cas des rythmes R5 et R18, l'effet combiné d'un *forte* et d'une fréquence de frappes élevée sur la réactivité de mouvement de l'auditeur.

7.1.1.3 Temps de réaction selon les sujets

En théorie, la sensibilité à l'effet dynamogénique de la musique est très variable d'un sujet à l'autre – chaque individu adopte un certain style moteur pour accompagner la musique et la capacité expressive du geste est marquée par la personnalité – mais assez constante chez un même sujet. Elle semble indépendante des aptitudes musicales et des dispositions pour la danse.

L'expérience ne visait pas la rapidité de réaction au son. Aucun signal antérieur à la première frappe du rythme n'a conditionné le sujet à réagir le plus rapidement possible par un traçage concomitant au son. Cependant, la consigne « bouger avec le rythme » a pu

implicitement susciter la grande réactivité motrice des sujets. De même, la remarque « prêt ? » parfois émise par l'expérimentatrice avant le déclenchement du son a pu mettre en alerte le sujet et par le fait, l'inciter à démarrer le traçage le plus rapidement possible. Par ailleurs, le fait que chaque pattern rythmique soit écouté une première fois puis tracé immédiatement lors de la seconde écoute a pu influencer les comportements moteurs des enfants. En effet, ces modalités de production sont très importantes sur le plan des phénomènes d'attention, de mémorisation et d'anticipation motrice du sujet : lors de la première écoute, il peut préparer sa mise en phase grâce à la mémorisation du bref pattern rythmique et à l'immédiate réactivation des données sonores lors de la seconde écoute. La brièveté des rythmes permet d'inscrire dans le présent psychologique du sujet le son et le geste graphique qui lui est associé. Les réactions motrices observées ici ne peuvent être considérées comme spontanées, et même, dans certains cas, des enfants débutent le traçage avant le rythme, par anticipation.

Les résultats de l'expérience indiquent une grande variabilité de délai de démarrage graphique selon les sujets et confirme que la sensibilité à l'effet dynamogénique du rythme dépend des individus (Cf. Annexe IX : Délais de démarrage du traçage selon les rythmes, par sujet).

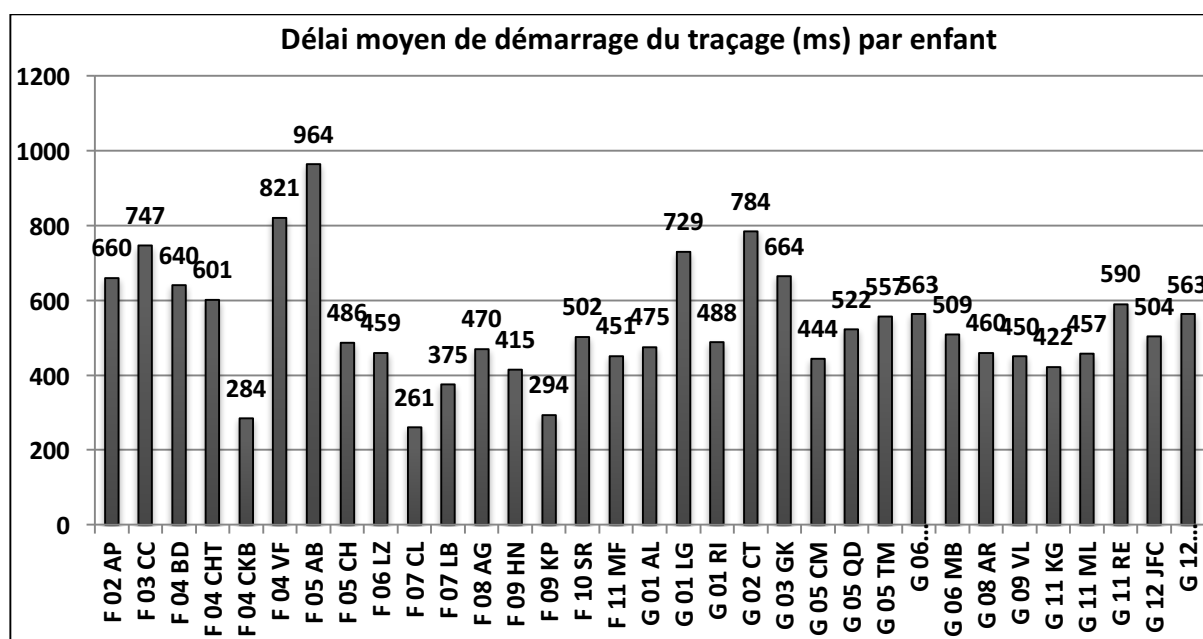


Figure 119: Délai moyen de démarrage du traçage par enfant

- **Variabilité interindividuelle du délai de démarrage du traçage**

20 enfants (60% des sujets) ont un temps de réaction inférieur à la moyenne de 550 ms. Le temps de réaction aux rythmes semble indépendant du genre des sujets :

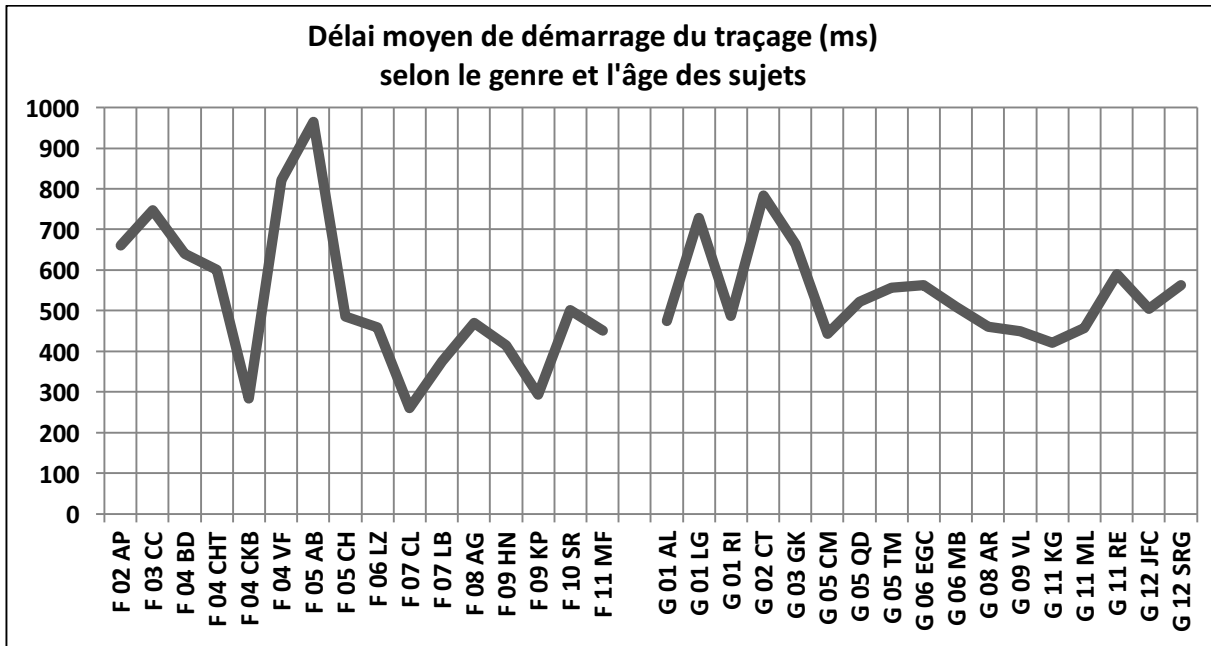


Figure 120: Délai moyen de démarrage du traçage selon le genre et l'âge des sujets

Les filles (à gauche sur l'axe des abscisses) ont des délais de réaction moins stables que les garçons mais équivalent en moyenne. Trois d'entre elles ont un temps de réaction moyen très rapide, sous les 300 ms (Cf. infra Etude de cas).

On note également que l'âge est une variable importante influant sur le temps de réaction puisque les enfants les plus âgés ont les délais de démarrage les plus longs :

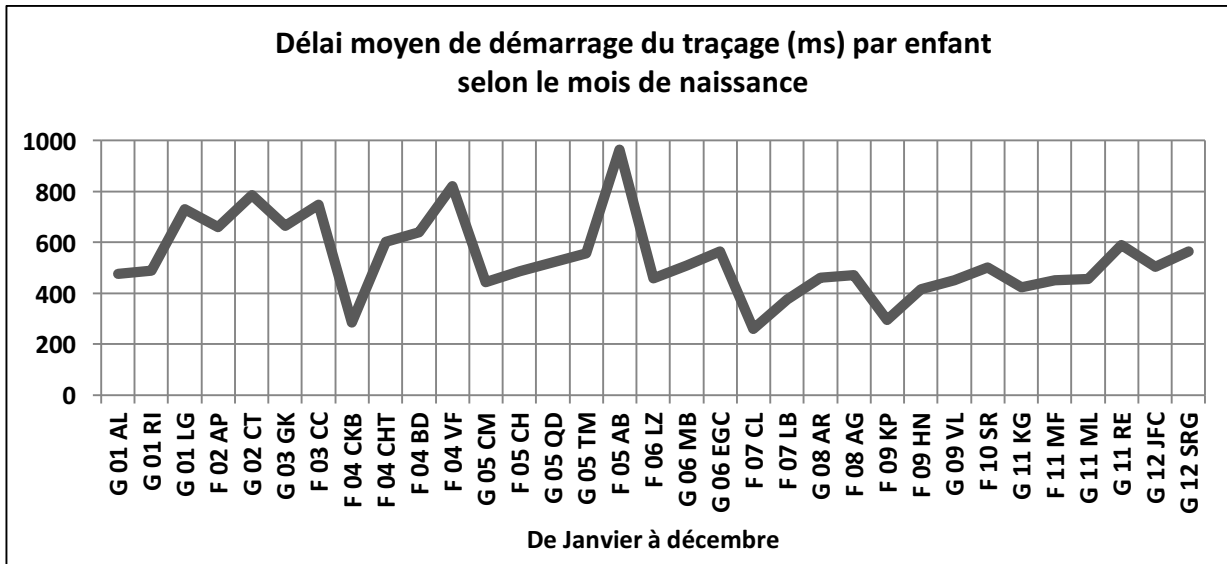


Figure 121: Délai moyen de démarrage du traçage selon le mois de naissance

On distingue trois groupes d'enfants dont les délais de réaction sont relativement homogènes selon la période de naissance :

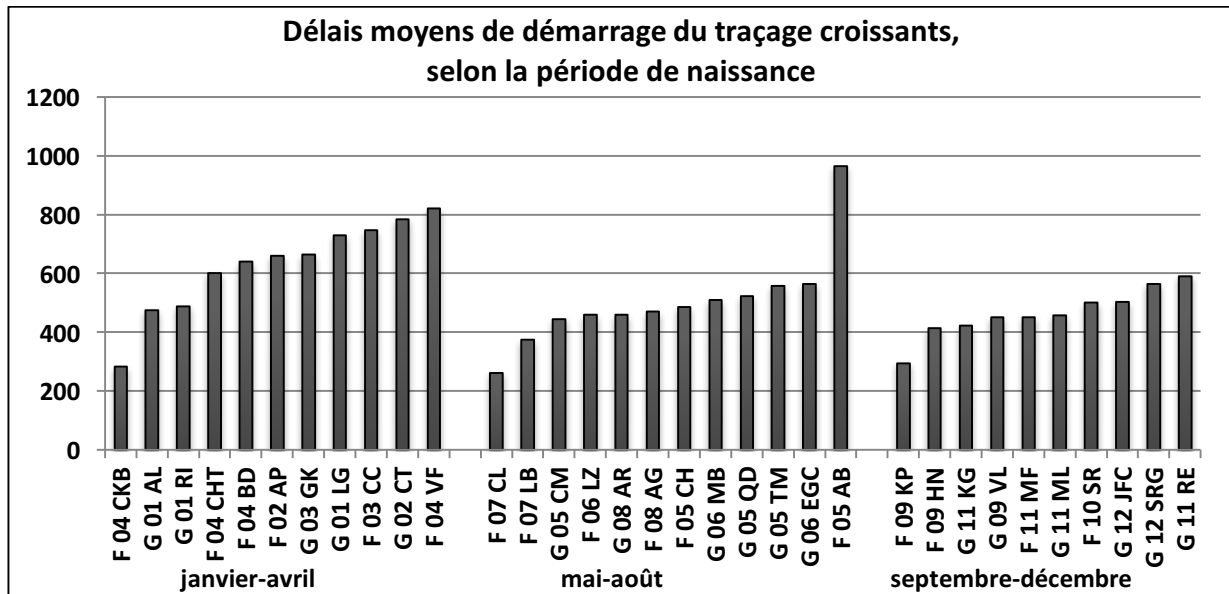


Figure 122: Délais moyens croissants de démarrage du traçage, selon la période de naissance

On aurait pu penser qu'une plus grande maturité grapho-motrice favorise une plus grande réactivité. Or, globalement, ce sont les enfants les plus jeunes qui ont les plus courts délais de réaction et les plus homogènes, autour de 460 ms. Les plus âgés ont des délais moyens de démarrage d'environ 630 ms. Les enfants nés en milieu d'année ont un temps de réaction plus homogène, autour de 500 ms. Les plus jeunes enfants sont-ils plus enactifs et réagissent-ils plus spontanément aux rythmes ? Les plus âgés font-ils preuve d'une plus grande réflexivité et, de ce fait, sont-ils moins réactifs sur le plan moteur, sans toutefois accéder aux modes iconique ou symbolique dans leur représentation des rythmes ? Dans de nombreux domaines, quelques mois de naissance d'écart à 5 ans peuvent avoir des effets sur le plan développemental. Dans le cas présent, il demeure nécessaire de vérifier la variabilité des délais de démarrage selon l'âge des sujets par une étude transversale sur une population plus étendue.

- **Variabilité intrasubjective**

On s'intéresse ici aux cas d'enfants dont les réactions sont atypiques (pour chaque cas, Cf. DVD Rom en 3^e de couverture 3-Vidéos : traçages sonores par enfant (33)).

Délais de démarrage du traçage remarquablement courts

Trois filles présentent des temps de réaction moyens particulièrement courts.

Cas de l'enfant F07CL

Le délai moyen de démarrage du traçage de 261 ms est le plus court de tous les sujets.

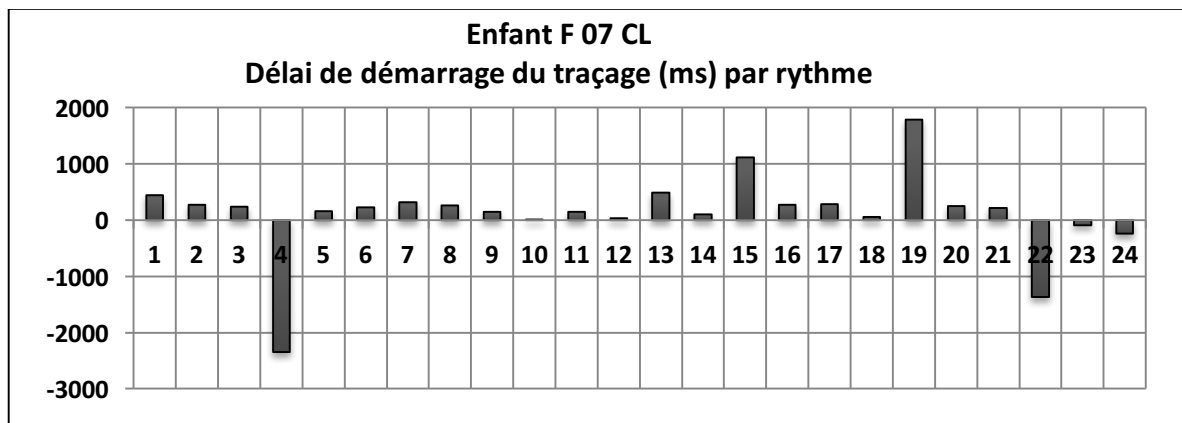


Figure 123: Délai de démarrage du traçage de l'enfant F07CL par rythme

Cette enfant est douée d'une forte personnalité, d'une grande vivacité intellectuelle et d'une remarquable habileté motrice. Elle est très réactive au son et coordonne immédiatement son geste graphique avec le rythme, avec même une anticipation sur le son en fin d'expérience (l'anticipation de 2,5 s sur R4 Sept sauts est due à une erreur de manipulation et à un faux départ du son). Sa réactivité au son ne semble pas liée à la nature même des rythmes mais à son aptitude à la coordination audio-graphique confirmée par sa capacité de synchronisation tout au long des items durant la passation. L'enfant fait figure d'exception parmi les 33 sujets : sa vivacité motrice lui permet de produire des graphismes dont la dynamique est très proche de celle des rythmes. Elle fait également preuve d'une grande qualité d'écoute pour avoir mémorisé le pattern dans son évolution après une seule audition.

Elle adopte une stratégie d'anticipation du départ du son en préparant son geste graphique : elle pose la pointe du stylo sur la feuille avant même le départ du son, contact qui a pour effet d'enclencher l'enregistrement des données graphiques plus d'une seconde avant le son. Cette anticipation volontaire lui permet de synchroniser le traçage avec le son dès le démarrage du rythme R22. Sur les rythmes R23 et R24, l'anticipation n'est pas perceptible sur la vidéo et, à l'œil nu, il semble qu'il y ait une parfaite synchronisation audio-motrice.

Les délais de démarrage les plus longs semblent liés aux propriétés des rythmes : le rythme R13 *Crescendo* débute *pianissimo*, ce qui engendre généralement de plus longs délais de démarrage (ici 500 ms), de même concernant le rythme R15 *accelerando* dont le *lento* initial incite encore moins au mouvement avec un plus long délai de démarrage du traçage (1 s). Quant au rythme R19 *Cycle rallentando*, il engendre le temps de réaction le plus long

(1,8 s) ce qui paraît inexplicable vu les propriétés rythmiques très dynamogènes. Passé ce délai, le traçage est immédiatement synchronisé avec le son.

Cas de l'enfant F04CKB

Le délai moyen de démarrage du traçage est court, de 284 ms.

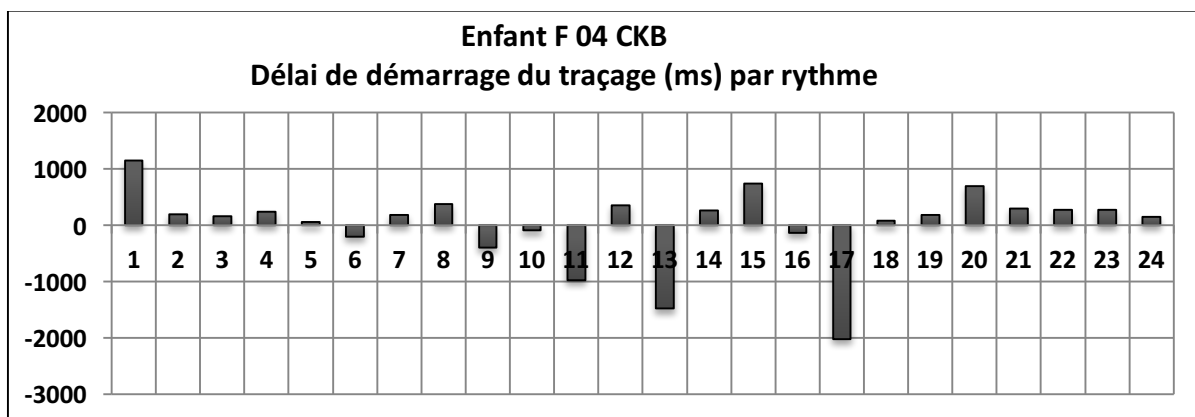


Figure 124: Délai de démarrage du traçage de l'enfant F04CKB par rythme

Vive, fine, sensible, cette enfant présente par ailleurs d'importantes difficultés langagières de dyslexie et des troubles d'élocution. Tout au long de l'expérience, elle est vive sur le plan moteur et fait preuve d'un contrôle remarquable, en maîtrisant les décélérations graphiques (sur R16). Elle reste en recherche permanente et modifie son comportement graphique durant la passation.

Le premier rythme R1 Trot engendre le plus long délai de démarrage graphique de l'enfant qui s'adapte dès le deuxième rythme et reste remarquablement réactive, avec des délais de réaction de l'ordre de 200 ms.

On observe une anticipation sur le son avec des délais négatifs. Cette enfant est très réactive et adopte en cours de passation (R6, R9, R11, R17) une stratégie qui lui permet d'accroître ses performances : elle se tient prête à démarrer en maintenant le stylo posé sur la feuille et démarre presque instantanément avec le rythme. Pour le R13 *crescendo*, ce délai négatif reste inexplicable car aucune trace de stylo n'apparaît avant le son sur la vidéo, le graphisme semblant débiter en synchronie avec le son.

Concernant les délais les plus longs, le rythme R15 *accelerando*, de même que dans le cas de l'enfant précédant, le *lento* incite peu au mouvement avec un plus long délai de démarrage du traçage (800 ms.). Le rythme R20 Syncopé a pu nécessiter une adaptation à l'audition de la syncopé et donc accroître le temps de réaction.

Cas de l'enfant F09KP

Le délai moyen de démarrage du traçage est de 294 ms.

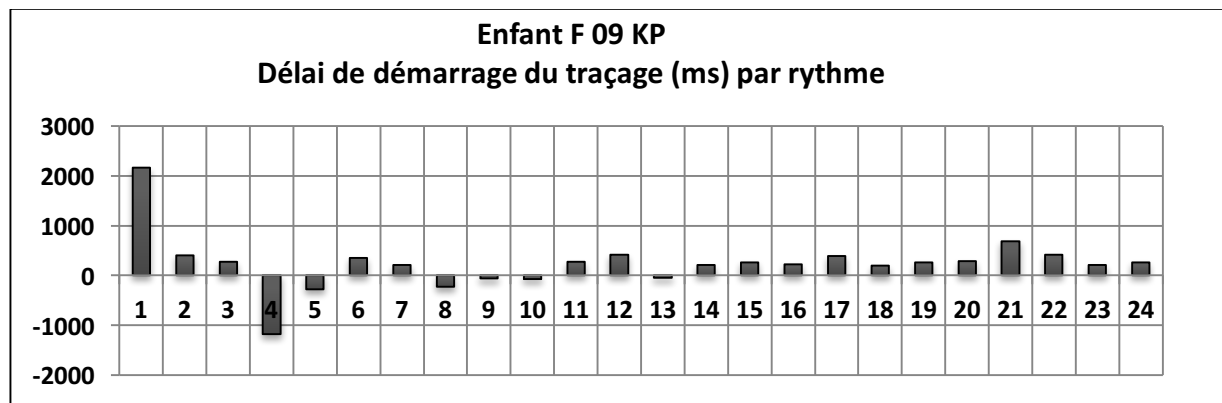


Figure 125: Délai de démarrage du traçage de l'enfant F09KP par rythme

Cette enfant assez réservée est performante sur le plan scolaire. Elle est vive sur le plan moteur et inventive avec une grande variété de formes graphiques dans ses productions. Sa première représentation est relativement maladroite, comparée aux représentations qui suivront. Il s'agit probablement d'une phase d'adaptation très courte puisque dès le deuxième rythme, le graphisme sera précis et pertinent, réalisé avec un bref délai de démarrage du traçage. A nouveau, le délai négatif sur R4 reste sans explication car aucune trace du stylo n'est visible sur la feuille avant le départ du rythme et le traçage débute immédiatement suivant le rythme. Les rythmes R5, R8, R9, R10 et R13 sont anticipés, avec un traçage légèrement antérieur au son. En fait, il semble que cette enfant ait une intention graphique précise suite à la première écoute du pattern et débute légèrement avant le départ du son.

Le rythme R21 Cycle tronqué a pu nécessiter une adaptation à l'audition de l'irrégularité de la structure et donc un plus long temps de réaction.

Délais de démarrage du traçage remarquablement longs

Trois enfants présentent des temps de réaction moyens particulièrement longs.

Cas de l'enfant G02CT

Le délai moyen de démarrage du traçage est de 784 ms.

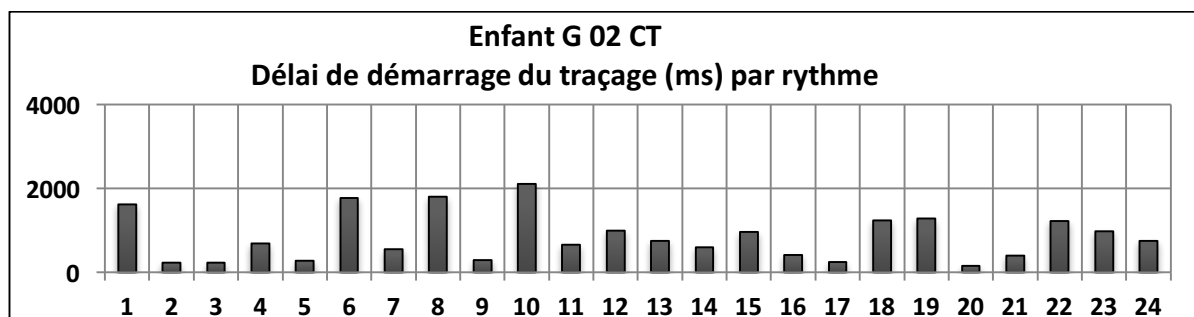


Figure 126: Délai de démarrage du traçage de l'enfant G02CT par rythme

Cet enfant est calme, réservé et performant sur le plan scolaire. Sa réaction graphique est lente à l'écoute du premier rythme mais l'effet d'apprentissage est visible dès le deuxième rythme. Toutefois, les délais de démarrage du traçage sont instables et parfois très longs dans la première moitié de l'expérience, puis ils se stabilisent et se réduisent. Les longs temps de réaction sur R6, R8 et R10 tendent à élever la moyenne des délais de démarrage graphique de l'enfant. Ils ne s'expliquent que par une recherche graphique de l'enfant dont on observe l'évolution des productions graphiques durant la passation, avec une aisance graphique croissante notamment sur le plan de la vitesse de déplacement.

Cas de l'enfant F04VF

Le délai moyen de démarrage est de 821 ms.

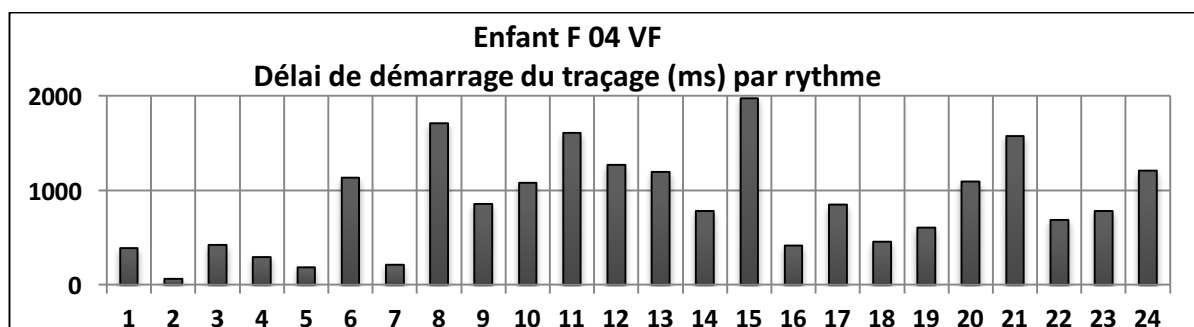


Figure 127: Délai de démarrage du traçage de l'enfant F04VF par rythme

Alors que les délais de démarrage initiaux sont brefs, ils augmentent et dépassent une seconde en milieu de passation, pour être finalement moins longs mais instables. Les représentations graphiques sont relativement uniformes sur le plan de la forme, avec une grande majorité de boucles. Les délais de réaction graphique sont plus longs que la moyenne des sujets mais semblent corrélés aux propriétés des rythmes : l'allure de la courbe est conforme à l'évolution des délais moyens par groupes de rythmes R1 à R7, R8 à R16, R17 à

R24 constatée plus haut⁷. Le rythme R15 *Accelerando* débutant *lento*, engendre un délai très long de 2 secondes.

Cas de l'enfant F05AB

Le délai moyen de démarrage est le plus long de tous les sujets, avec 964 ms.

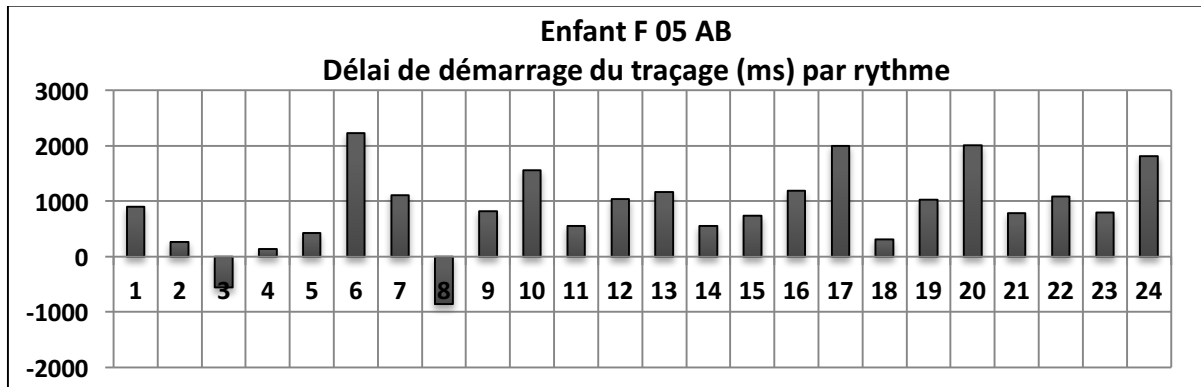


Figure 128: Délai de démarrage du traçage de l'enfant F05AB par rythme

Cette enfant, sensible et intelligente, présente certaines difficultés comportementales : elle est agitée et opposante avec l'adulte et avec ses pairs. Elle s'exprime oralement durant la passation. Ses productions et les délais de démarrage du traçage sont variés, instables. Après une phase d'apprentissage de R1 à R2, l'enfant anticipe dès le troisième rythme. On note une baisse d'attention à partir du sixième rythme.

Anticipation graphique sur le son

Sur les 33 participants, 18 ont anticipé le départ du son sur au moins deux rythmes. Comme on l'a noté dans les quelques cas précédents, alors que tous les enfants ont déjà entendu le rythme une fois, certains sujets tendent à anticiper le départ du son soit parce qu'ils savent précisément la forme qu'ils vont tracer et débutent le traçage avant le son, soit, le plus souvent, parce qu'ils veulent synchroniser dès le départ leur graphisme avec le son. Ils se préparent à démarrer le traçage en posant la pointe du stylo sur le papier ce qui provoque le déclenchement du chronomètre. Cette phase de préparation permet ensuite un délai de démarrage réel du traçage extrêmement court. Ces enfants, contrairement à ce que les délais négatifs laissent penser a priori, sont en réalité très synchrones avec le son. Les quelques cas suivants sont particulièrement remarquables de l'anticipation du départ du son.

⁷ Cf. *supra*, graphique délai moyen de démarrage du traçage par rythme.

Cas de l'enfant G12JFC

Cet enfant anticipe presque systématiquement le départ du son dans l'objectif d'une synchronisation la plus immédiate avec le rythme.

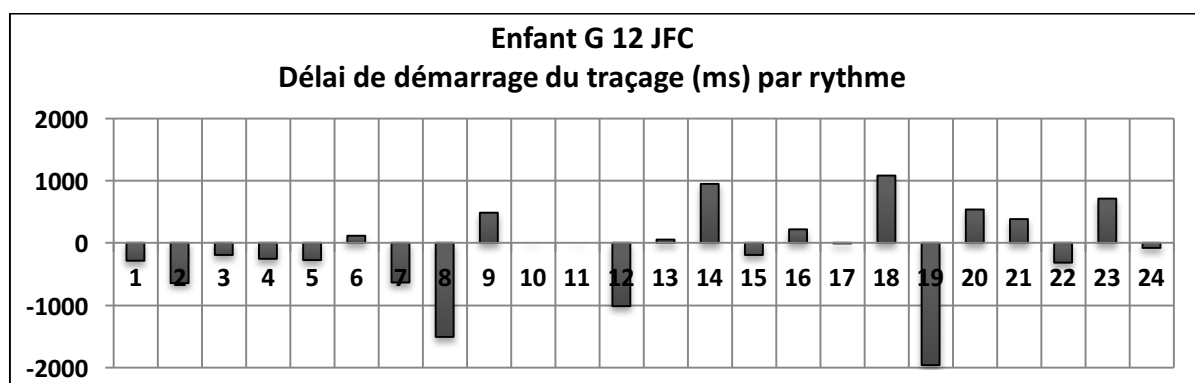


Figure 129: Délai de démarrage du traçage de l'enfant G12JFC par rythme

Cet élève est précoce, très vif et réceptif à l'activité proposée. Sa préparation graphique est systématique : il pose la pointe du stylo sur la feuille pour débiter son traçage en concomitance avec le rythme. On note sa déconcentration et son excitation en fin de passation, à partir du R18 Cycle *rallentando*, expliquant ses plus longs délais de démarrage.

Cas de l'enfant F04BD

Ses anticipations sont provoquées par un conseil « Appuie bien fort » émis à plusieurs reprises par l'adulte juste avant le traçage en raison de traces peu visibles sur le papier. Cette remarque répétée engendre presque systématiquement la préparation du stylo avec la pointe posée sur le papier, précisément dans le cas des rythmes R6, R16 et R17 :

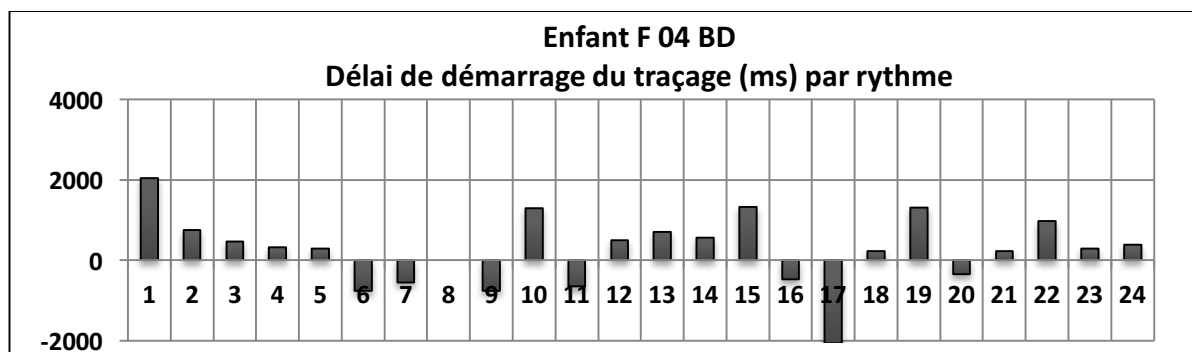


Figure 130: Délai de démarrage du traçage de l'enfant F04BD par rythme

7.1.2 Vitesse graphique en début de traçage

L'effet d'induction motrice des rythmes est également analysé suivant la force motrice de l'auditeur mesurée ici via la valeur de la vitesse graphique initiale. On recherche les productions graphiques qui ont une vitesse graphique initiale très élevée. Les données liées aux erreurs d'enregistrement⁸ des coordonnées (x,y) de la pointe du stylo en début de production graphique sont à nouveau très utiles car elles indiquent les productions graphiques dont la vitesse et l'accélération sont très importantes (vitesse supérieure à 50 cm/s) et, par conséquent, les rythmes qui ont provoqué ces réactions graphomotrices très vives.

7.1.2.1 Vitesse élevée en début de traçage selon les rythmes

38% du total des productions présentent un problème d'enregistrement de vitesse graphique qui est lié à une vitesse du stylo très élevée au cours de la production :

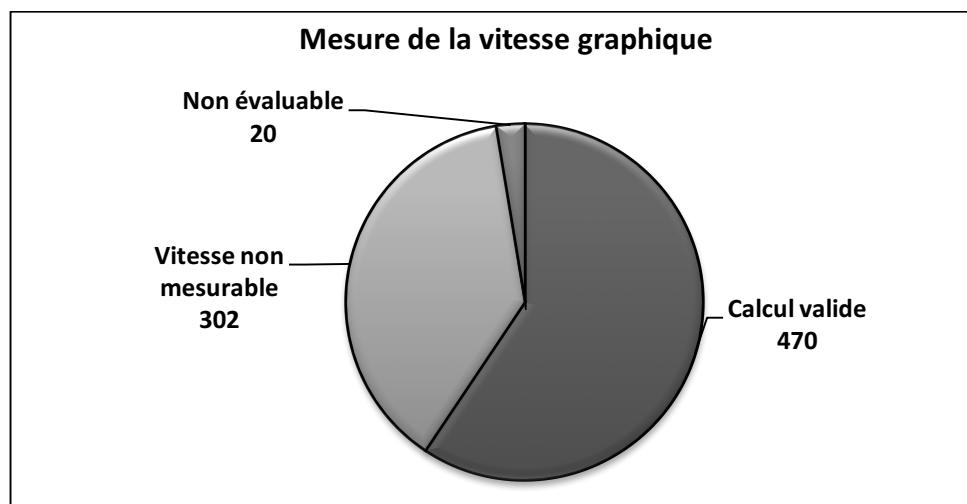


Figure 131: Mesure de la vitesse graphique : calculs valides ou non

Les mouvements graphiques avec une vitesse très élevée en début de traçage représentent plus de 20% de la totalité des productions et plus de 55% des productions avec erreur de calcul :

⁸ Les problèmes d'enregistrement des données de vitesse sont liés à la célérité graphique : une vitesse trop élevée et une très forte accélération graphique engendrent un problème dans les coordonnées (x,y) et, par conséquent, des résultats aberrants de calcul de vitesse.

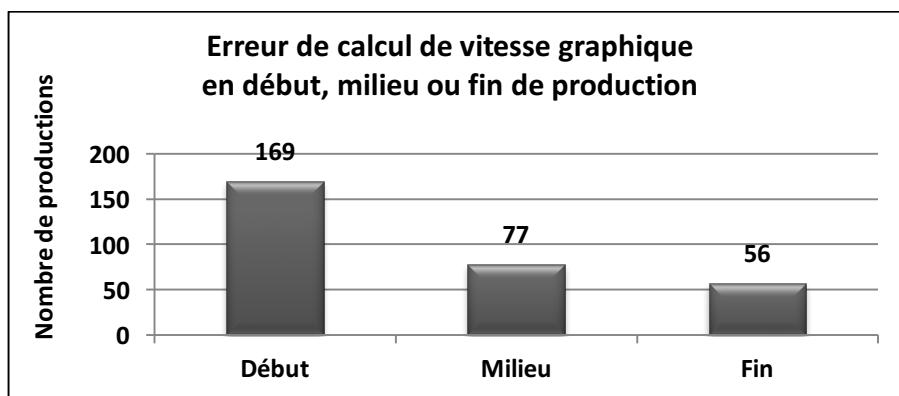


Figure 132: Problème de calcul de la vitesse graphique en début, milieu, fin de production

Vitesse élevée (supérieure à 50 cm/s) en début de traçage, selon les rythmes

Les productions graphiques sont très différentes au cours de la passation :

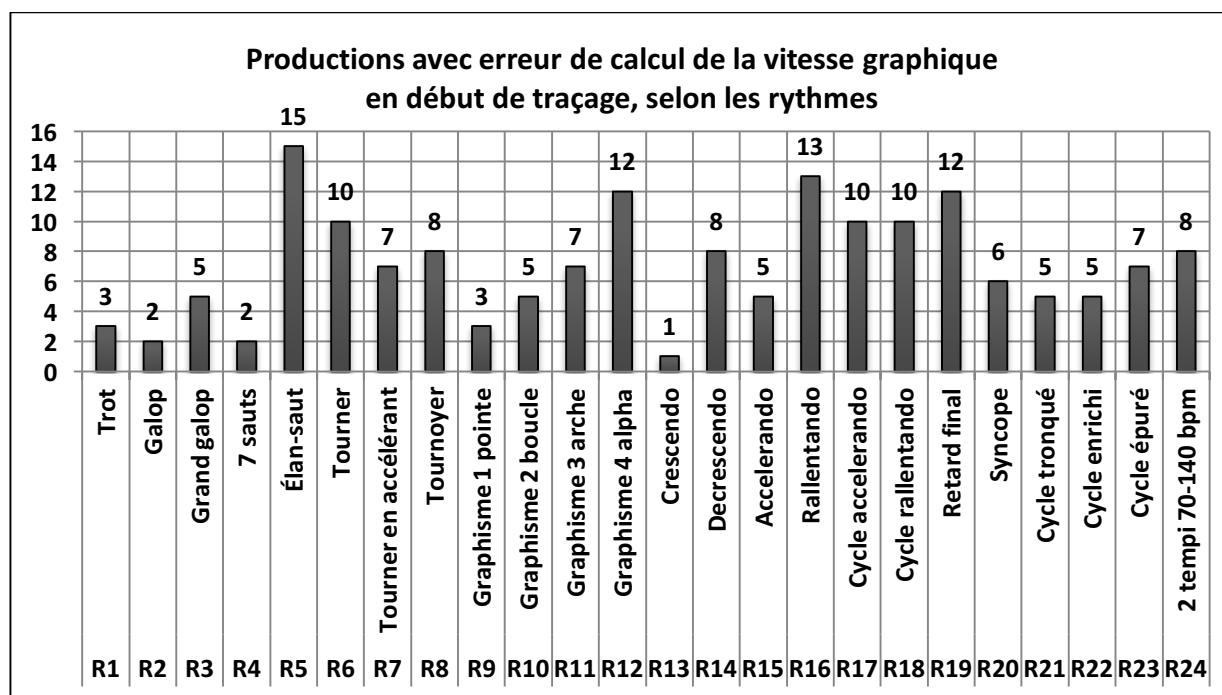


Figure 133: Erreur de calcul de la vitesse graphique en début de production selon les rythmes

Cette vitesse particulièrement élevée des premières réactions motrices des sujets serait donc liée à des propriétés rythmiques particulières. Quelles propriétés rythmiques peuvent être à l'origine de cet effet ?

L'écoute des rythmes R5, R16, R12, R19 et R6 engendre de vives réactions graphiques :

	R5 Elan-saut	R16 <i>Rallentando</i>	R12 Graphisme alpha	R19 Retard final	R6 Tourner
Fréquence de frappes	10	7	10	7	7
Intensité perçue	9	9	6-8	7-9	8

Tableau 83: Propriétés dynamo-agogiques des rythmes 5, 16, 12, 19 et 6, dans l'ordre décroissant de réactions graphiques initiales vives

La fréquence de frappes élevée combinée à l'intensité *forte* et à l'accentuation des frappes semble engendrer dès le début de l'écoute une célérité graphique.

7.1.2.2 Vitesse élevée en début de traçage selon les sujets

- **Analyse intersubjective**

Vitesse élevée en début de production, selon le genre des sujets

On note une légère supériorité de réactivité graphique chez les garçons :

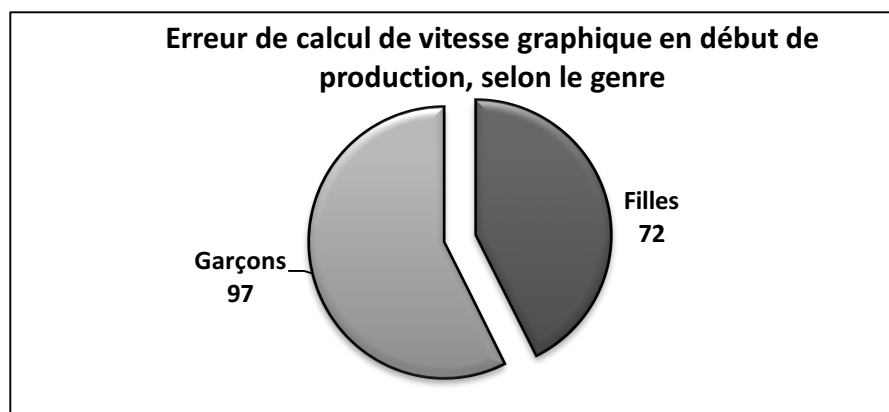


Figure 134: Erreur de calcul de la vitesse graphique en début de production selon le genre des sujets

Vitesse élevée en début de production, selon l'âge des sujets

L'âge ne semble pas être une variable déterminante, les résultats fluctuant fortement d'un individu à l'autre.

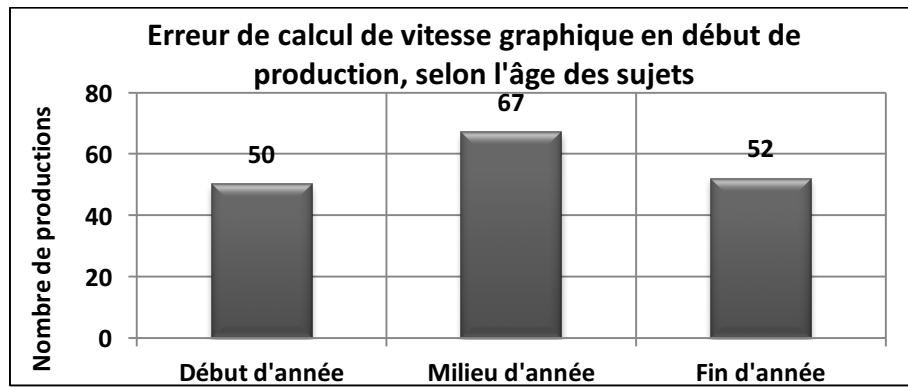


Figure 135: Erreur de calcul de la vitesse graphique en début de production selon l'âge des sujets

- **Analyse intrasubjective**

La force motrice développée par les sujets en début de traçage est très variée suivant les individus :

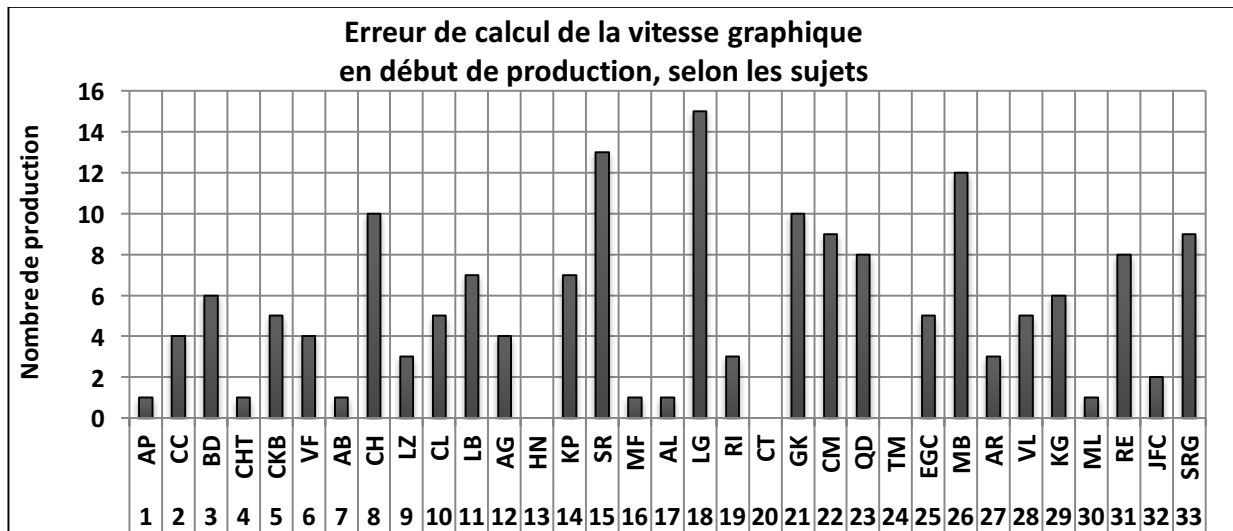


Figure 136: Erreur de calcul de la vitesse graphique en début de production selon les sujets

Quatre enfants produisent un grand nombre de graphismes avec erreur de mesure de vitesse et donc avec une vitesse élevée au début du traçage. Sur 24 productions par sujet, 15 productions ont une vitesse graphique initiale très élevée pour G01LG, 13 pour F10SR, 12 pour G06MB et 10 pour F05CH. Comment réagissent-ils selon les rythmes ?

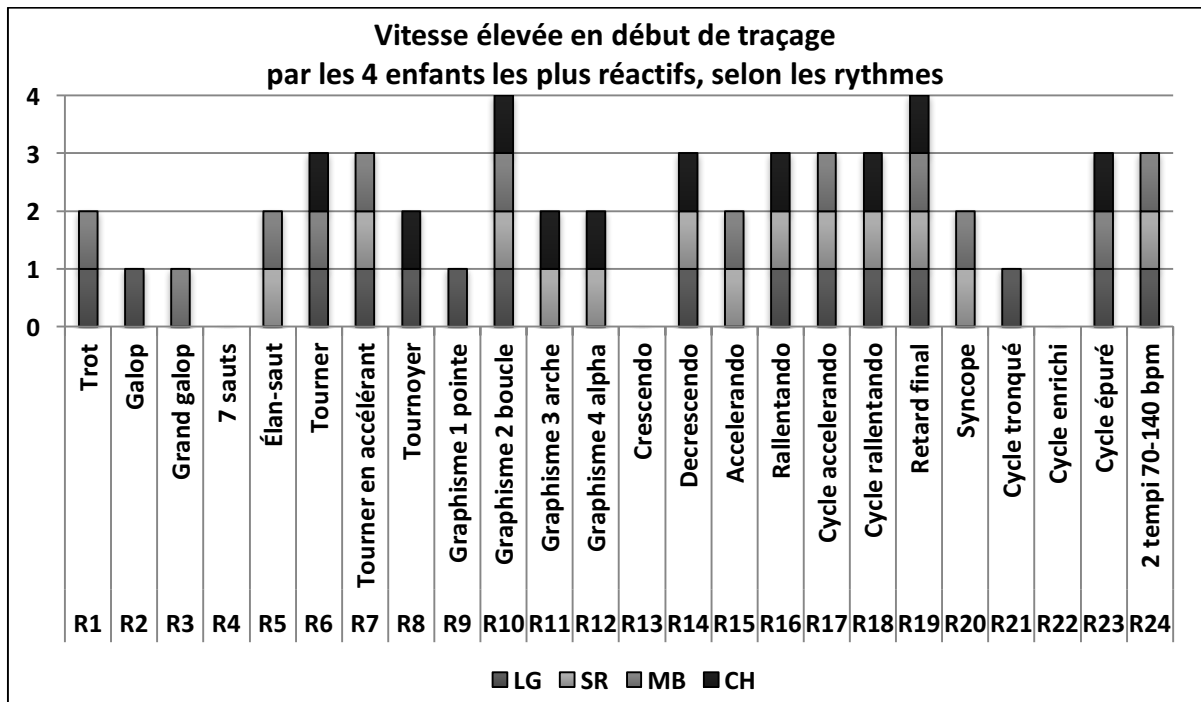


Figure 137: Vitesse graphique élevée en début de traçage des 4 sujets les plus réactifs, selon les rythmes

Ces quatre enfants débutent rapidement le graphisme sur les rythmes R10 Graphisme Boucle et R19 Retard final. Trois réagissent vivement aux rythmes R6 Tourner, R7 Tourner en accélérant, R14 *Decrescendo*, R16 *Rallentando*, R17 *Cycle accelerando*, R18 *Cycle rallentando*, R23 Cycle épuré, R24 Deux tempi (70-140 bpm).

7.1.3 Bilan

Les patterns rythmiques qui induisent à la fois des temps de réaction courts *et* une importante force motrice⁹ en début de production peuvent être considérés comme les plus dynamogènes de l'expérience. Ainsi, rangés dans l'ordre décroissant de dynamogénie, les rythmes R5 Élan-saut, R16 *Rallentando*, R14 *Decrescendo*, R6 Tourner, R7 Tourner en accélérant, R19 Retard final et R11 Graphisme 3 Arche engendrent des productions graphiques combinant la rapidité de réaction et la vitesse graphique initiale élevée.

Une forte intensité et une accentuation par intensification des frappes constituent deux éléments dynamogènes. La vitesse des impulsions rythmiques est également un facteur important d'induction de mouvements graphiques d'une grande vivacité, ainsi que le tempo, en combinaison avec l'accentuation intensive des frappes, et la cyclicité du motif rythmique.

⁹ Vitesse graphique très élevée.

La vivacité de réaction motrice au début de l'écoute des rythmes semble être un facteur hautement idiosyncrasique : les réactions graphiques initiales sont variées d'un sujet à l'autre et relativement stables chez chaque sujet. Une analyse intrasubjective demeure nécessaire pour mieux comprendre les causes multiples de ces réactions qui peuvent être liées à la sensibilité du sujet aux propriétés des rythmes, à ses caractéristiques graphomotrices propres ou encore à son interprétation de la consigne avec l'incitation au mouvement graphique durant la passation.

7.2 Synchronisation graphique avec le rythme

L'étude de la synchronisation du graphisme avec le rythme dans le temps, avec la régularité et la précision des ajustements graphiques aux sons, est essentielle dans l'analyse de l'appariement des formes dynamiques sonores et graphiques car elle fournit des indices de la perception au cours du temps de propriétés rythmiques par l'auditeur. Des propriétés dynamiques et formelles du graphisme s'appuient dans le temps sur des propriétés de structure, de périodicité et de *mouvement* des rythmes écoutés. On suppose que les auditeurs de cinq ans synchronisent leur graphisme avec des traits particulièrement saillants du rythme et se focalisent sur différentes échelles de temps.

L'aspect crucial de la synchronisation sensori-motrice est la prédiction des futurs événements rythmiques, ce qui la distingue d'une simple tâche de réaction graphique où la réponse est produite aussi rapidement que possible. Cette activité est intentionnelle et manifeste : l'auditeur doit avoir l'intention de se mouvoir, de coordonner ses mouvements avec un référent externe, le pattern rythmique ; il va exprimer cette intention par un mouvement graphique. La synchronisation sensorimotrice implique la coordination temporelle du rythme moteur du sujet avec un rythme externe. Elle est importante pour l'auditeur car il est capable d'entendre la musique « dans le temps » de son déroulement. L'ajustement du mouvement sur un rythme nécessite de la part de l'auditeur la possibilité d'organisation des liaisons sensori-motrices dans le temps. Les notions d'anticipation permettent d'organiser l'activité et nécessitent une écoute attentive, active et imaginative.

Bien que l'expérience ne vise pas en premier lieu l'analyse de la synchronisation sensorimotrice des enfants de cinq ans, la consigne « *bouger avec le rythme* », parfois variée par « *aller avec le rythme* » induit implicitement chez l'auditeur une activité de coordination du

graphisme avec le rythme. Les résultats de l'analyse audiovisuelle des productions graphiques et du son indiquent que les sujets ont généralement la capacité à synchroniser leurs graphismes avec des éléments rythmiques sonores durant une partie ou la totalité de l'item et l'on dénombre relativement peu de productions asynchrones (15%). On distingue différents degrés de synchronisation motrice durant l'audition des rythmes :

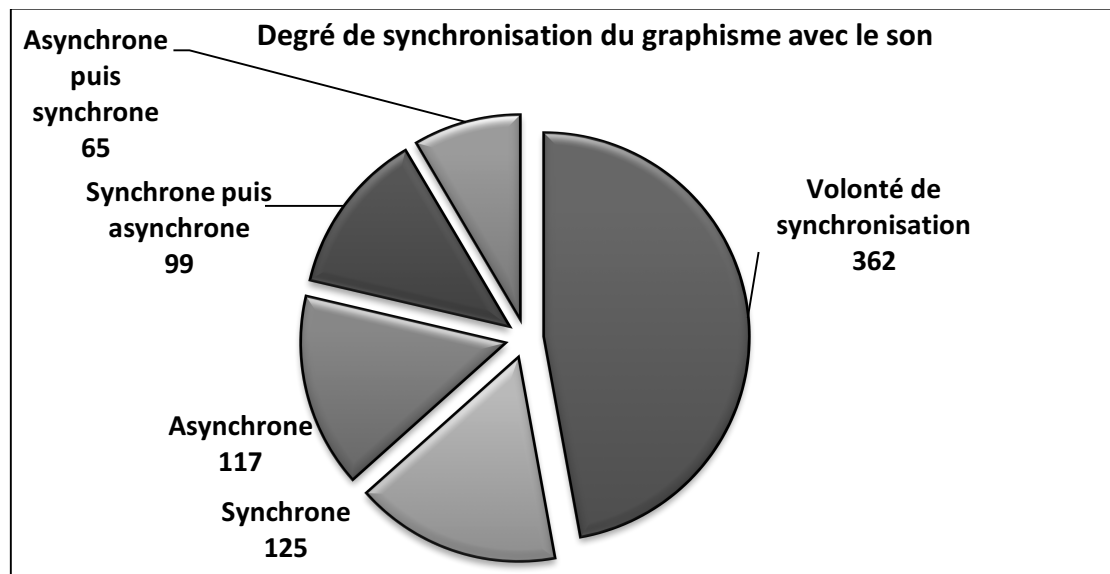


Figure 138: Degré de synchronisation du graphisme avec le son

Sur les 772 productions graphiques, on estime que 45% indiquent une « volonté de synchronisation », c'est-à-dire que la coordination du graphisme avec le son est approximative. 15% des productions sont synchrones : elles présentent un déroulement spatiotemporel très lié aux propriétés des rythmes. 20% présentent une synchronisation ou une désynchronisation en cours de production. 15% sont asynchrones : le graphisme ne présente pas d'indices de correspondance avec des éléments rythmiques précis.

7.2.1 Evolution de la synchronisation graphique selon le rythme

La synchronisation des productions graphiques avec le son est évaluée par l'observation de la concordance dans le temps entre propriétés graphiques et propriétés rythmiques. Généralement, on constate que le niveau de résolution des rendus est variable, la correspondance du graphisme avec le son étant assez précise et détaillée ou très approximative. Sur l'ensemble de la passation, les productions graphiques sont moins nombreuses à être synchronisées avec les premiers rythmes mais elles le sont beaucoup plus

précisément. Le nombre de productions approximativement synchrones s'accroît au tiers de la passation puis tend à se stabiliser :

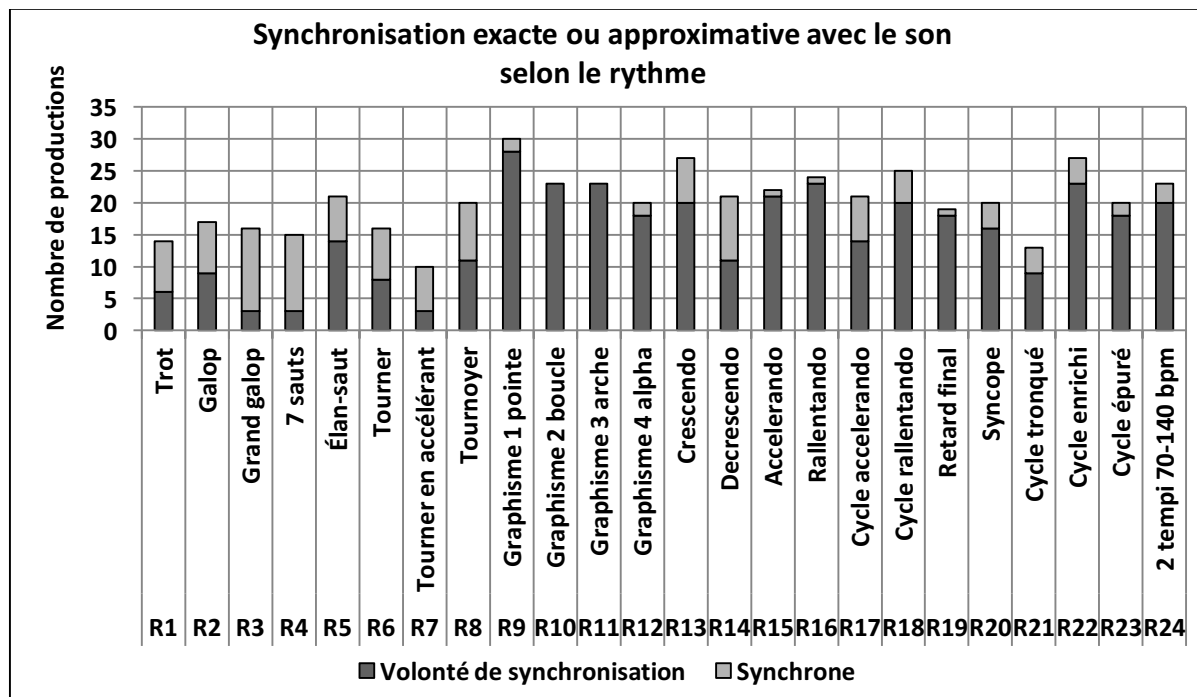


Figure 139: Synchronisation exacte ou approximative avec le son, selon le rythme

On distingue les productions synchrones des productions approximativement synchrones avec le son. Les premières présentent les indices graphiques d'une coordination assez précise avec des éléments rythmiques ; les secondes évoluent en rapport avec des propriétés sonores sans être en parfaite concordance avec le son. Elles reflètent la volonté de synchronisation audio-graphique de l'auditeur.

Productions synchrones avec le son (15%)

La synchronisation audiomotrice est assez précise avec les 8 premiers items présentés aux enfants, des rythmes conçus selon des termes d'imitation de mouvements physiques. Les protorythmes R14 *Decrescendo* et R13 *Crescendo* engendrent également près de 50% des productions graphiques synchrones. Les rythmes R17 *Cycle accelerando* et R7 *Tourner en accélérant* permettent une meilleure synchronisation graphique que le protorythme R15 *accelerando*. La coordination est sans doute facilitée par un effet dynamogène lié à la cyclicité de ces rythmes. Les productions graphiques sont moins synchronisées avec le R18 *Cycle rallentando* du fait de la fréquence de frappes initiale élevée qui rend moins aisée la mise en phase du mouvement avec le son. Le ralentissement moteur est probablement difficile

pour un enfant de cinq ans car il nécessite un fort contrôle moteur et une faculté d'inhibition motrice.

Productions approximativement synchrones avec le son (45%)

Les rythmes créés à partir de motifs graphiques fondamentaux, R9 Graphisme pointe, R10 Graphisme boucle, R11 Graphisme arche et R12 Graphisme alpha, incitent une majorité des auditeurs à la synchronisation sans que la coordination motrice soit précise. 85% des sujets tentent de synchroniser leurs graphismes avec des éléments du R9 Graphisme Pointe, protorythme constitué d'une série de frappes rythmiques d'une grande simplicité, netteté et régularité, avec un silence qui scinde les frappes en deux groupes. La simplicité de l'organisation des frappes couplée à la cyclicité favorise une synchronisation du graphisme avec le rythme en début de rythme R22 Cycle enrichi. De même, la simplicité des rythmes R16 *Rallentando* et R15 *Accelerando* facilite sans doute la coordination motrice.

Productions graphiques asynchrones (15%)

Le protorythme R1 Trot engendre le plus de productions asynchrones ce qui s'explique sans doute par sa position en début de la passation. L'effet d'apprentissage est visible dès le deuxième rythme. Le nombre de productions asynchrones restera faible et diminuera jusqu'en fin de passation :

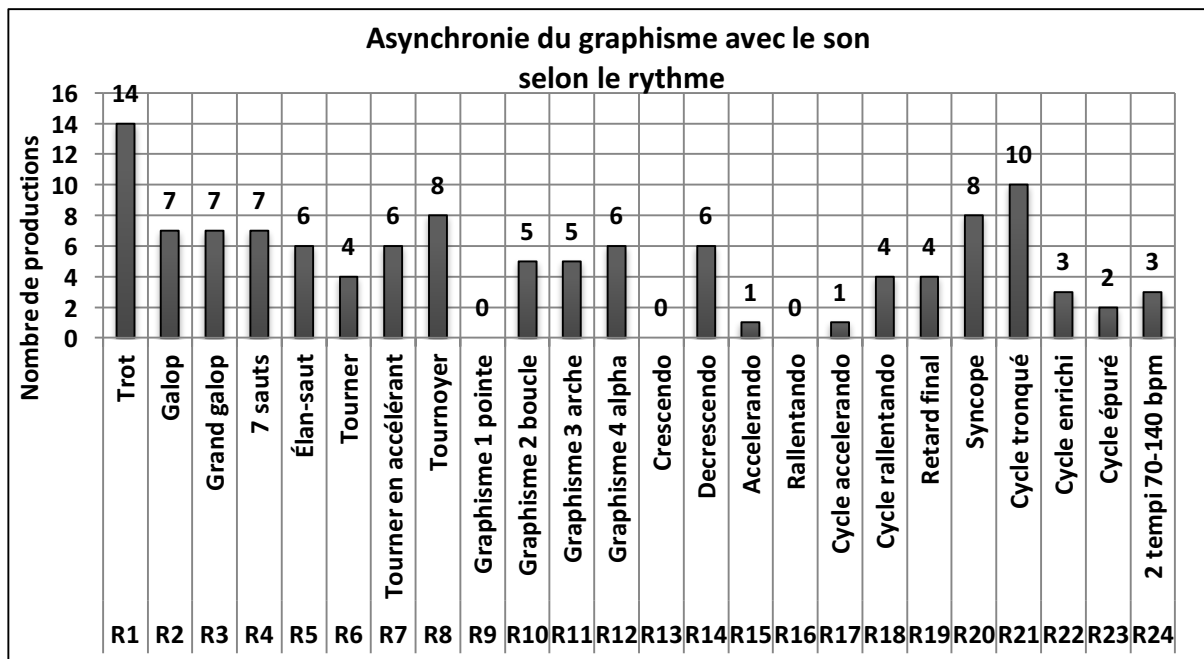


Figure 140: Asynchronie du graphisme avec le son, selon le rythme

Les difficultés de synchronisation graphique des auditeurs avec les rythmes R20 Syncope et R21 Cycle tronqué s'expliquent par l'irrégularité des deux structures rythmiques qui engendre des difficultés de prévision des événements, condition nécessaire à la synchronisation de la motricité avec les frappes rythmiques.

Synchronisation ou désynchronisation en cours d'item (20%)

La perte de synchronisation (12%) se produit plus fréquemment que l'instauration d'une coordination motrice (8%).

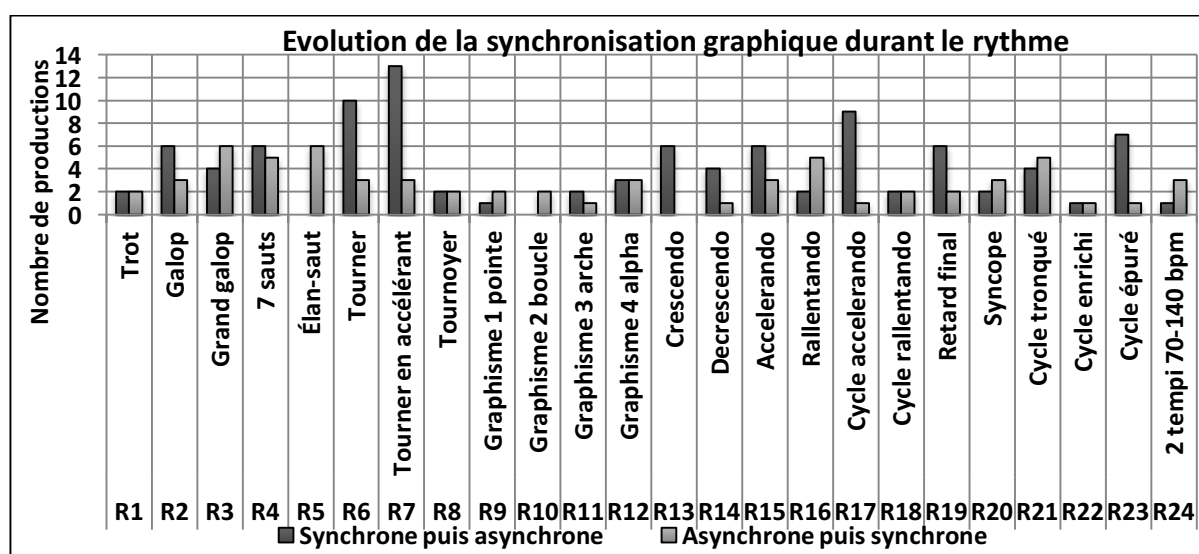


Figure 141: Evolution de la synchronisation graphique durant le rythme

Certains rythmes engendrent une perte de synchronisation au cours de la production notamment ceux dont la fréquence de frappes initiale est élevée et/ou croissante durant l'item. L'effet d'accélération des frappes engendre une désynchronisation graphique causée par une perte de contrôle moteur : c'est le cas des rythmes R7 Tourner en accélérant, R6 Tourner, R17 Cycle *accelerando*, ce dernier n'engendrant pratiquement pas de synchronisation en cours de pattern, et R15 *Accelerando* dans une moindre mesure mais pour les mêmes raisons.

La forme graphique choisie par l'enfant est également importante car elle contraint son mouvement et ne lui laisse pas toujours la possibilité d'adapter sa vitesse graphique aux sons. Lorsqu'il maîtrise son graphisme, par exemple les boucles, l'enfant se désynchronise par effet d'excitation : il accélère exponentiellement et perd le contrôle de la régularité de vitesse initiale (Cas R6F09KP). Lorsqu'il change de formes graphiques en cours de production, il perd la coordination avec le rythme du fait des exigences de traçage des nouvelles formes (Cas R6G01AL, R6G06EGC, R6G08AR, R7F02AP, R17F06LZ).

Dans le cas du R13 *Crescendo*, l'intensification des frappes engendre une accélération graphique telle que les formes se désynchronisent avec les frappes. En revanche, la vitesse graphique reste proportionnelle à l'augmentation de l'intensité (Cas R13F08AG). Parfois, la forme évolue pour répondre au changement rythmique perçu mais ne laisse plus trace de synchronisation (Cas de zigzags suivies de ligne, R13F02AP). Lorsque la forme se complexifie, la coordination perd en précision (Cas de ponts suivis de boucles, R13F04CKB).

La synchronisation en cours d'item se produit sur les rythmes R5 Elan-saut et R3 Grand galop dont la fréquence de frappes diminue en cours d'item (Cas R5G11RE, R3F07CL). Elle apparaît également après une brève période d'adaptation à la complexité de structure des rythmes R20 Syncope et R21 Cycle tronqué.

Le rythme R4 Sept sauts engendre autant de désynchronisation que de synchronisation en cours de production. Un accroissement de taille peut désynchroniser le graphisme (Cas de spirale centrifuge, R4G11KG) ; a contrario, le choix d'une forme graphique adaptée durant la production favorise la synchronisation avec le son (Cas R4F10SR).

7.2.2 Éléments rythmiques de synchronisation graphique selon le rythme

On s'intéresse ici plus précisément aux éléments rythmiques sur lesquels s'appuie la synchronisation graphomotrice. A priori, l'auditeur peut focaliser sur différentes échelles de temps comme la pulsation, les frappes séparées, les motifs rythmiques, la fréquence de frappes. Le visionnage de l'ensemble des traçages avec le son permet de répertorier précisément ces éléments rythmiques :

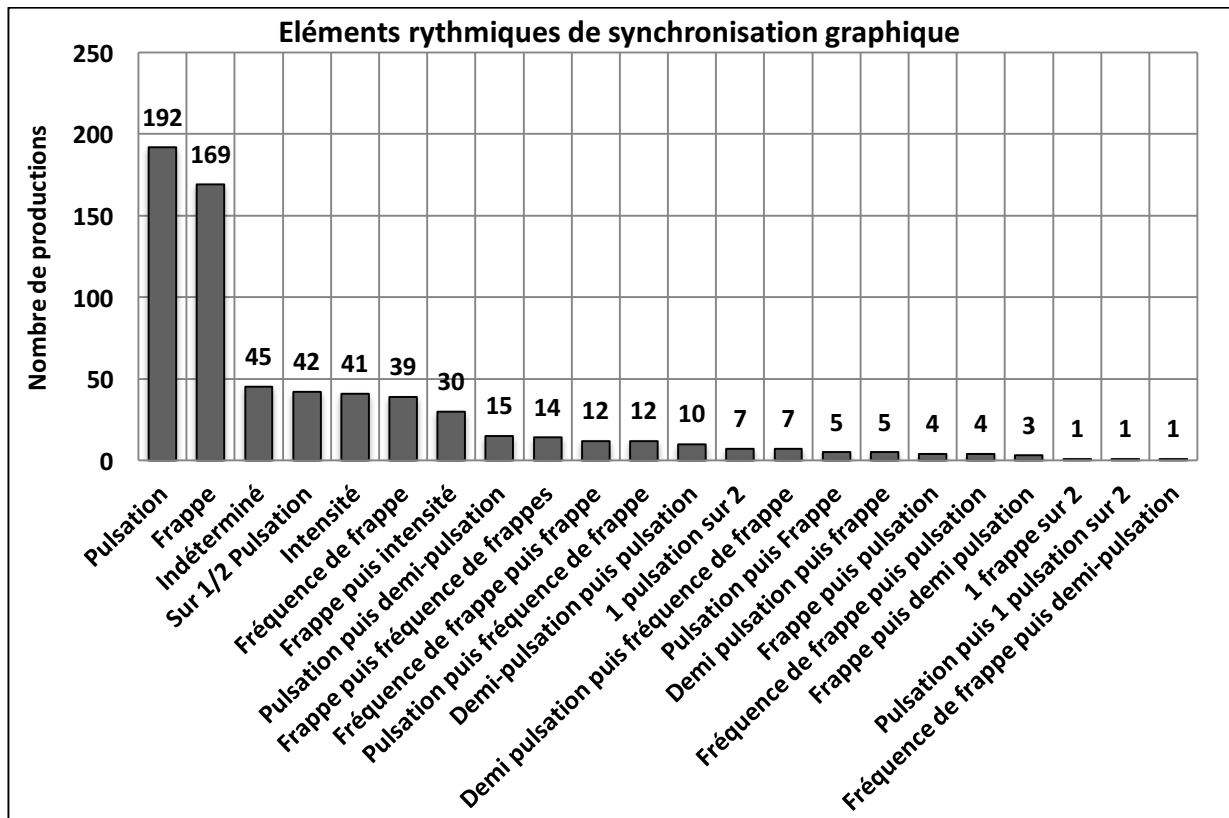


Figure 142: Eléments rythmiques de synchronisation graphique

La synchronisation est d'une grande stabilité puisque 60% des productions s'appuient sur un seul élément rythmique : 25% des productions sur la pulsation des rythmes, 20% sur les frappes ; 5% sur la fréquence de frappes ; 5% sur l'intensité. Près de 10% des productions s'appuient sur différents niveaux métriques (sur la demi-pulsation ou sur une pulsation sur deux).

15% des productions présentent une synchronisation moins stable, se référant à deux éléments rythmiques successifs. Les patterns qui présentent d'importantes modifications de leurs propriétés engendrent une instabilité dans le choix de l'élément rythmique :

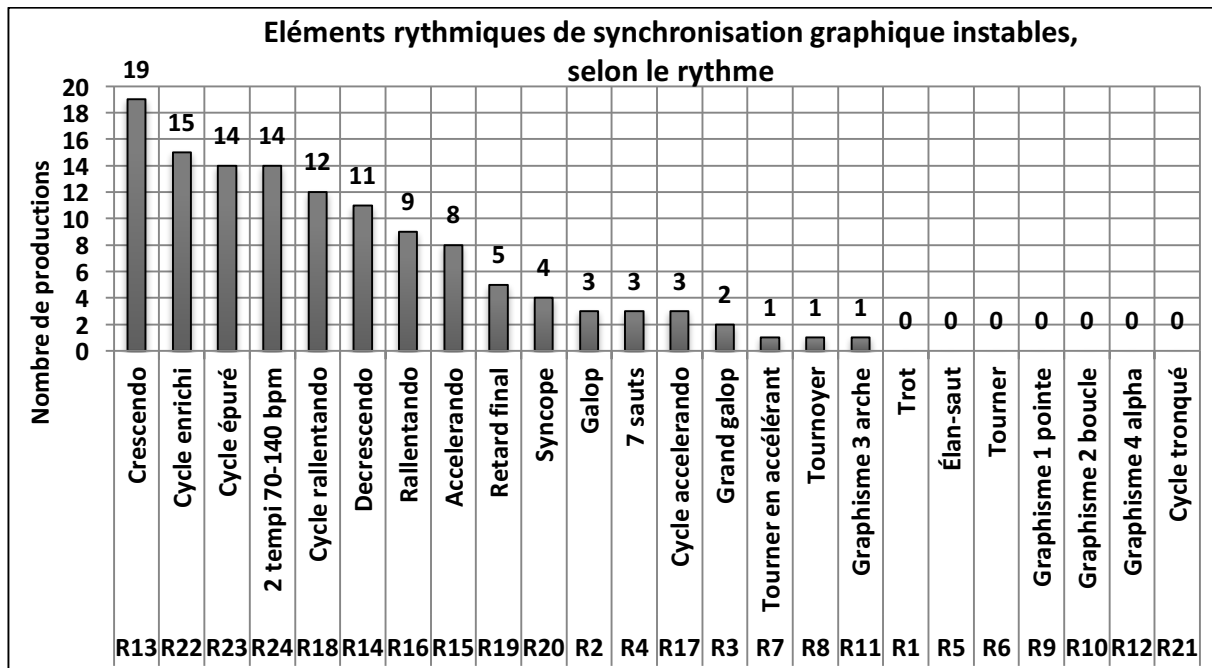


Figure 143: Éléments rythmiques de synchronisation graphique instables, selon le rythme

Principaux éléments rythmiques de synchronisation graphique

On regroupe toutes les productions dans lesquelles interviennent à un moment donné de la synchronisation les éléments de pulsation, frappe, intensité perçue et fréquence de frappes, une même production graphique pouvant donc se trouver dans deux classes :

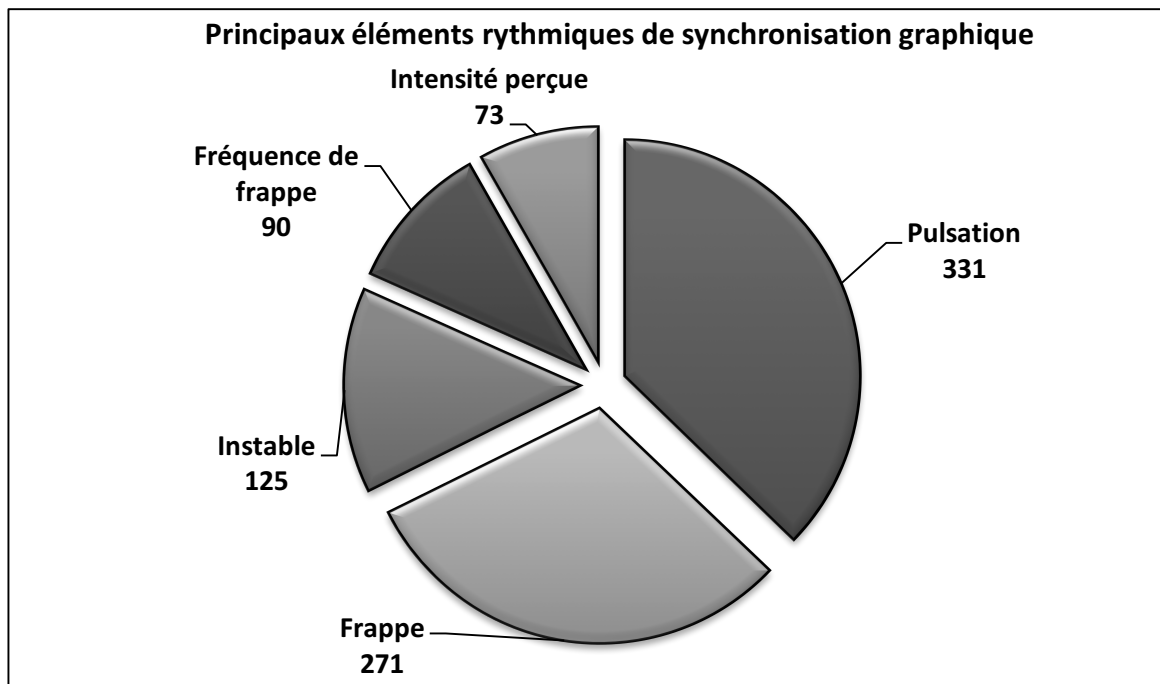


Figure 144: Principaux éléments rythmiques de synchronisation graphique

Près de 40% des productions graphiques s'appuient en tout ou partie sur le mètre et ses divisions, près de 30% sur les frappes, près de 10% sur la fréquence de frappes et près de 10% sur l'intensité. Dans 15% des cas, l'élément sonore de référence fluctue durant la production infantine. Quels rythmes engendrent l'un ou l'autre élément de synchronisation ?

On s'intéresse aux productions graphiques dont la synchronisation s'effectue en rapport à un seul élément rythmique. Les comportements moteurs semblent liés aux propriétés rythmiques car les productions sont très différenciées durant l'ensemble de la passation :

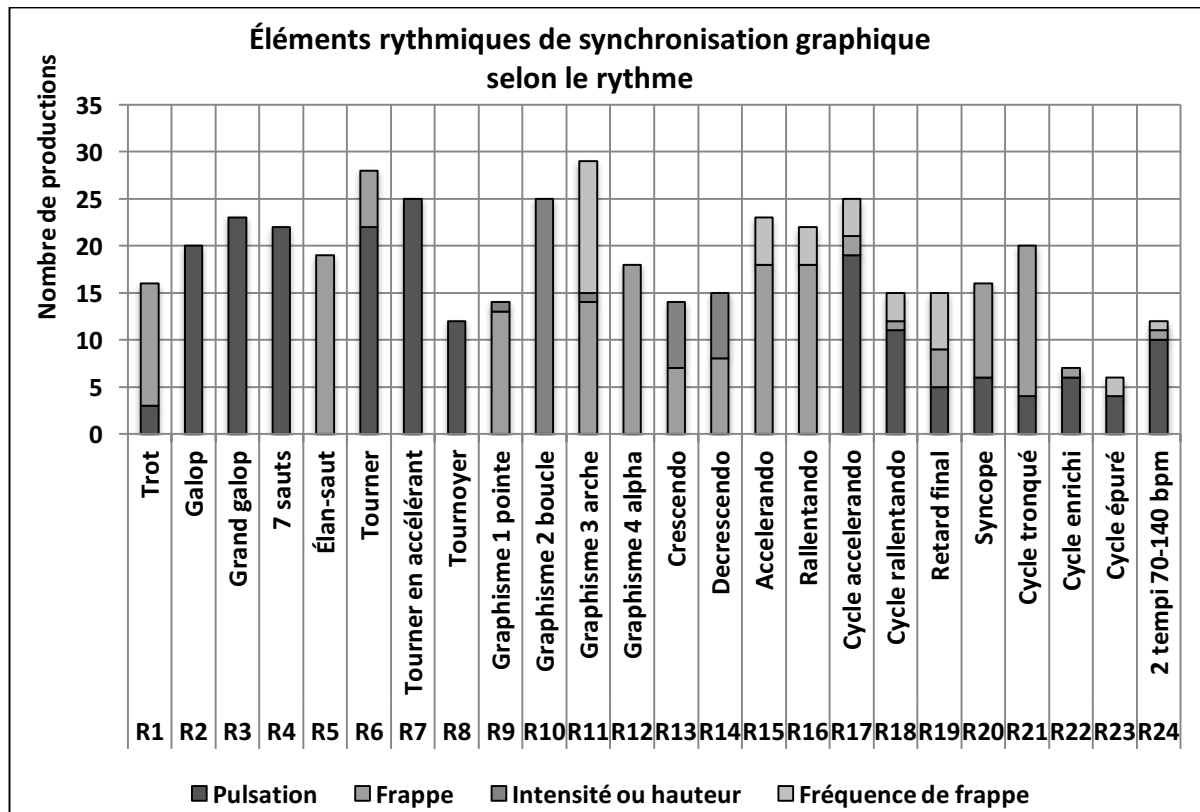


Figure 145: Éléments rythmiques de synchronisation graphique selon le rythme

Le rythme R19 Retard final, avec une fréquence de frappes élevée et les accents variés de son motif, ne permet pas à l'enfant de synchroniser son geste sur la pulsation. La relative complexité de ce rythme engendre une variété d'éléments d'appui pour la synchronisation : pulsation, frappes et fréquence de frappes. La variation continue de la périodicité en fin de pattern apparaît peu dans les productions graphiques. Elle intervient tardivement et engendre probablement une difficulté d'adaptation motrice liée au contrôle moteur et à l'inhibition.

Synchronisation avec la pulsation

Parmi les 24 rythmes auditionnés, 15 sont métriques et leur périodicité permet à l'auditeur de percevoir une pulsation¹⁰ :

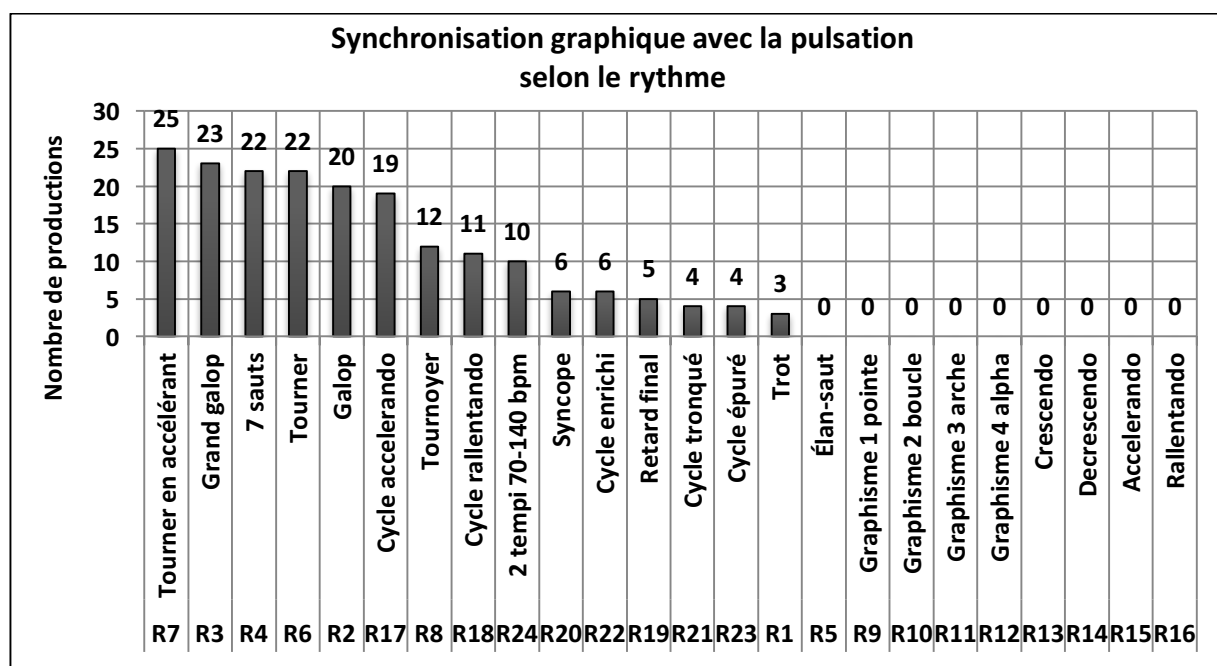


Figure 146: Synchronisation graphique avec la pulsation selon le rythme

Il apparaît qu'une combinaison de facteurs rythmiques permet aux enfants de synchroniser leur motricité fine en accord avec la pulsation. La périodicité assure une régularité qui permet à l'auditeur d'anticiper le retour d'un événement sonore et de régler son rythme moteur sur le rythme sonore. Les tempi des rythmes R7, R3, R4, R6, R2, R17 sont relativement rapides. Ils favorisent la synchronisation motrice par leur proximité avec le tempo moteur spontané des enfants de cinq ans qui se situe autour de 500 ms, soit une pulsation de 120 bpm. Le rythme R3 Grand galop présente des motifs qui favorisent la coordination motrice, en dépit d'un tempo (170 bpm).

La pulsation est, si ce n'est moins bien perçue, moins transcrite initialement dans les productions graphiques du R18 Cycle *rallentando* comparé à R17 Cycle *accelerando*. La fréquence de frappes initiale est trop élevée pour permettre à l'enfant d'adapter la fréquence de son rythme moteur sur celle du rythme sonore.

En ce qui concerne R20 Syncope, bien que la périodicité du rythme soit conservée, l'irrégularité *dans* la structure empêche la synchronisation graphique avec la pulsation. La

¹⁰ R1 Trot, R2 Galop, R3 Grand galop, R4 Sept sauts, R6 Tourner, R7 Tourner en accélérant, R8 Tournoyer, R17 Cycle *accelerando*, R18 Cycle *rallentando*, R19 Retard final, R20 Syncope, R21 Cycle tronqué, R22 Cycle enrichi, R23 Cycle épuré, R24 Deux tempi 70-140 bpm.

syncope, sorte d'arythmie dans le rythme, engendre une réelle arythmie motrice. L'enfant a des difficultés à anticiper les frappes syncopées qui viennent perturber le rythme moteur.

Seules quelques productions sont synchrones avec la pulsation de R22 Cycle enrichi et R23 Cycle épuré. Ces rythmes sont plus complexes et engendrent peu de synchronisation avec un seul élément rythmique. Par ailleurs, ces rythmes étant présentés en fin de passation, on ne peut éliminer l'hypothèse de la fatigabilité des sujets dans la tâche de synchronisation. Il y aurait intérêt à randomiser les items pour mesurer ces effets liés à l'ordre de présentation.

Quelques productions graphiques doublent leur pulsation motrice par rapport à la pulsation des rythmes, notamment dans le cas de rythmes de grande fréquence de frappes qui provoqueraient un effet d'entraînement :

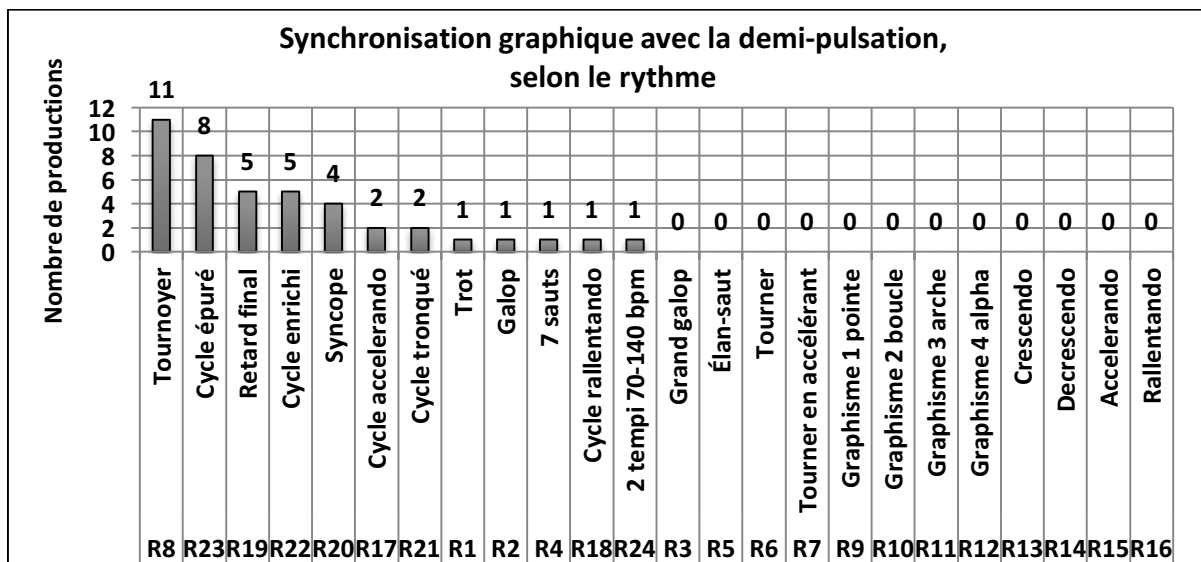


Figure 147: Synchronisation graphique avec la demi-pulsation selon le rythme

Dans quelques cas, ce doublement de la pulsation du geste graphique se produit en cours d'item :

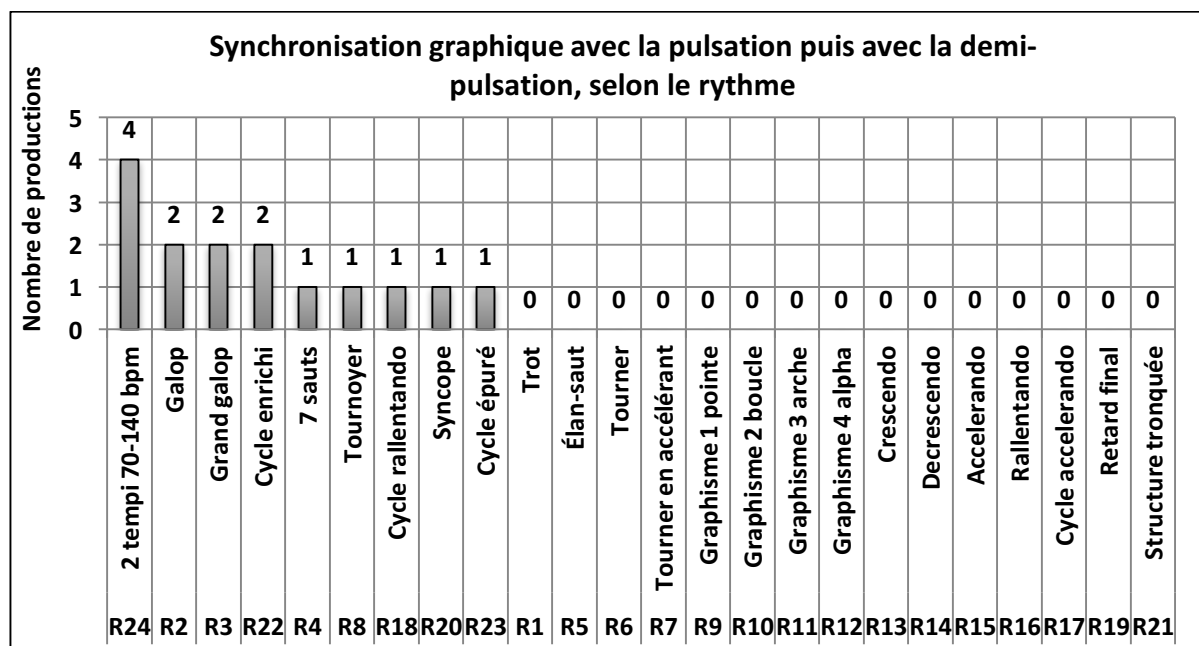


Figure 148: Synchronisation graphique avec une pulsation puis une demi-pulsation, selon le rythme

L'adaptation motrice s'effectue en fonction du changement rythmique : le doublement de la pulsation motrice s'accorde avec le doublement de fréquence des motifs rythmiques de R24 Deux tempi ou sur l'accroissement de fréquence de frappes de R22 Cycle enrichi. Dans d'autres cas, la volonté de synchroniser une partie précise de la forme graphique (par exemple, le bas d'un zigzag) avec la pulsation des rythmes (R2 Galop, R3 Grand galop) nécessite un doublement de vitesse graphique.

Synchronisation avec les frappes

Une condition majeure de la synchronisation du graphisme avec les frappes est que la durée entre ces frappes soit suffisante pour permettre à l'auditeur de coordonner son rythme moteur avec le rythme sonore. C'est le cas du rythme R5 Elan-saut qui favorise la synchronisation graphique avec ses frappes accentuées, *forte* et nettement espacées.

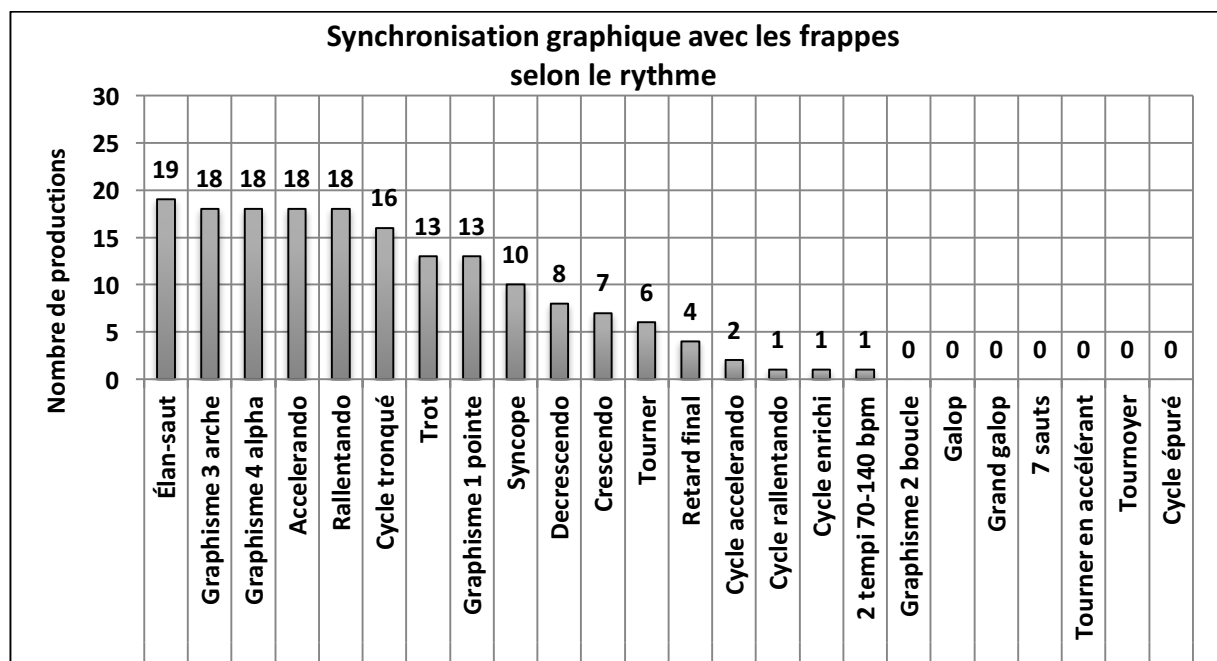


Figure 149: Synchronisation graphique avec les frappes, selon le rythme

Dans le cas de rythmes sans pulsation comme R11 Graphisme 3 arche et R12 Graphisme 4 alpha, la synchronisation s'appuie sur les frappes bien que leur fréquence soit élevée. De même, le R16 *Rallentando* permet la synchronisation avec les frappes malgré leur fréquence initiale élevée, ce qui peut être liée à la première écoute de ce rythme, préparatoire au traçage, ainsi qu'à l'effet d'ordre, puisqu'il succède à R15 *Accelerando*.

Dans d'autres cas, l'irrégularité du rythme peut déstabiliser ces jeunes auditeurs et perturber la synchronisation avec les frappes. Le R21 Cycle tronqué présente une structure qui semble ne pas se répéter intégralement d'un cycle à l'autre. La troncation ne permet pas à l'enfant de s'appuyer sur la pulsation qu'il lui faudrait rétablir au début de chaque cycle. La simplicité de ce rythme permet tout de même de synchroniser le geste graphique avec les frappes au sein de la structure. Toutefois, un problème se pose à la frontière de la structure, provoqué par l'IOI « écourté » entre la dernière frappe et la première frappe de la structure suivante. Les enfants coordonnent leur mouvement avec les frappes mais le passage d'un cycle à l'autre est peu précis. Sur le rythme R20 Syncope, on constate le même phénomène, avec une synchronisation globale avec les frappes régulièrement espacées puis la conservation de la régularité de leur geste en dépit de la frappe syncopée. Le rythme R24 Deux tempi est également syncopé ce qui rend la coordination motrice difficile pour de jeunes enfants qui ne synchronisent pas leur graphisme avec les frappes pourtant relativement lentes dans sa première partie. Le second tempo très rapide les déstabilise sans doute également, sur le plan moteur.

Synchronisation avec la fréquence de frappes

Lorsque la fréquence de frappes est trop élevée pour permettre la synchronisation avec les frappes, la vitesse de traçage se met en phase avec la vitesse d'événements rythmiques. Quelques productions recourent uniquement à cet élément de synchronisation durant l'item :

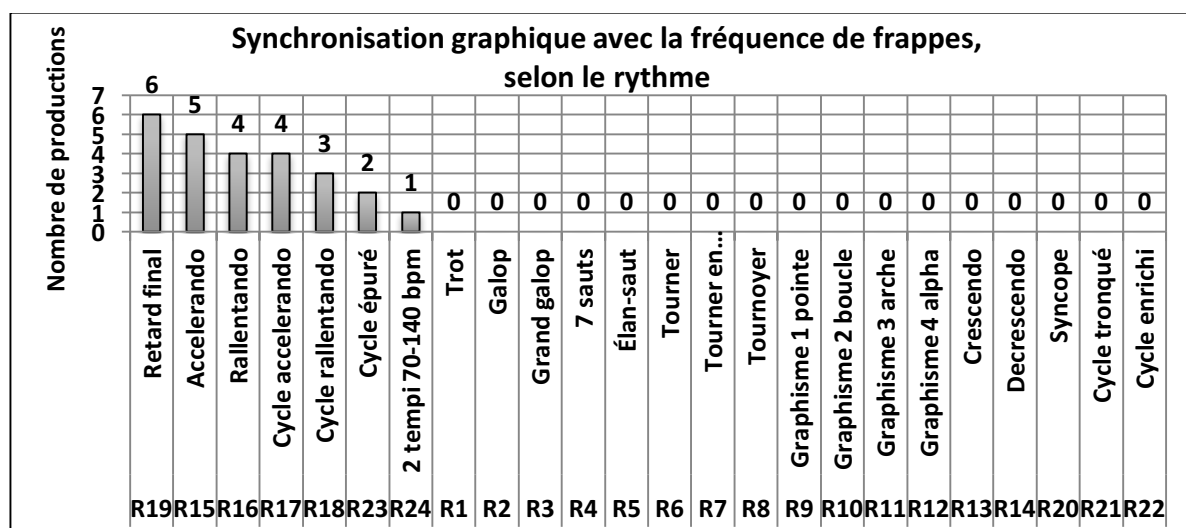


Figure 150: Synchronisation graphique avec la fréquence de frappes, selon le rythme

La vitesse de traçage d'arabesque ou de ligne permet de coordonner la vitesse graphique dans le temps à la fréquence de frappes du rythme (R19G06EGC). Dans quelques cas, le changement d'élément rythmique de référence a lieu en cours de pattern :

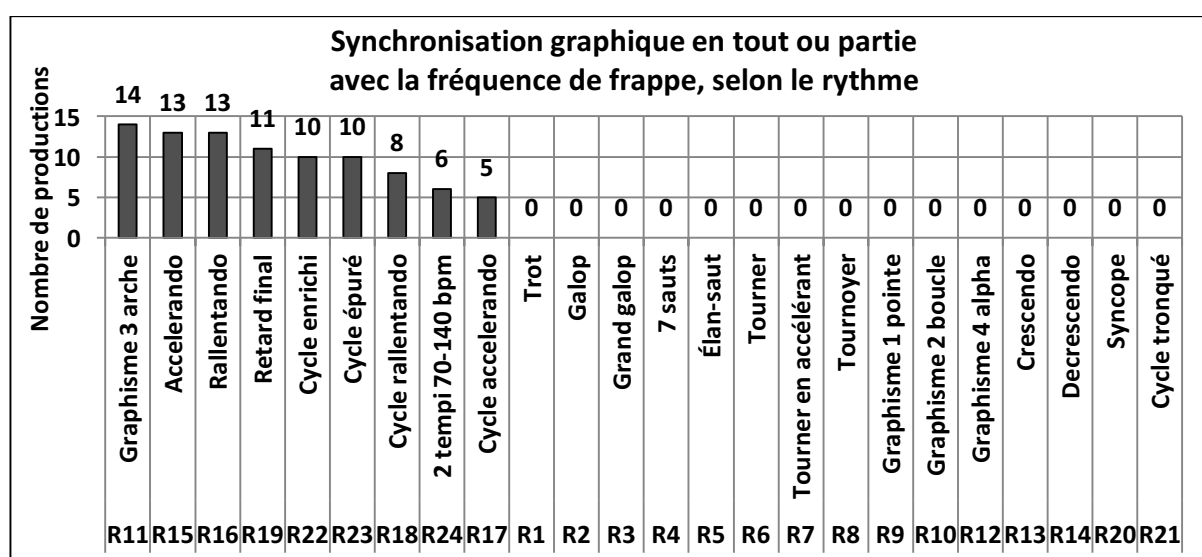


Figure 151: Synchronisation graphique en tout ou partie avec la fréquence de frappes, selon le rythme

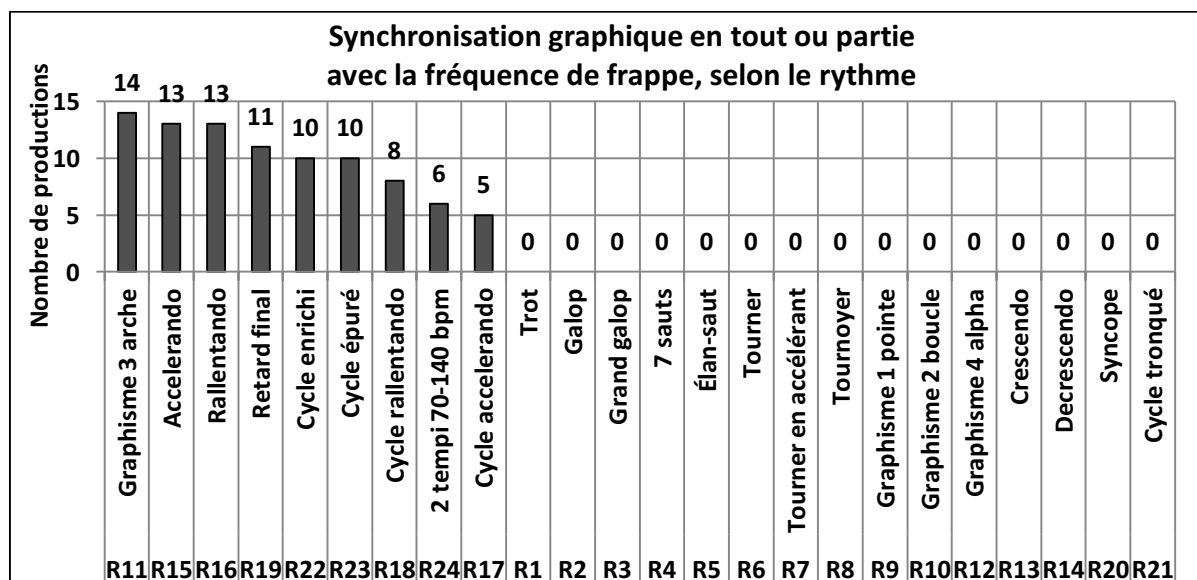


Figure 152: Synchronisation graphique en tout ou partie avec la fréquence de frappes, selon le rythme

La coordination passe des frappes à la fréquence de frappes lorsque celle-ci devient trop élevée pour se synchroniser avec chaque frappe (R15 *Accelerando* (8 productions) et R22 Cycle enrichi (4 productions)), ou inversement de la fréquence de frappes aux frappes avec des rythmes décélérant (R16 *Rallentando* (8 productions) et R23 Cycle épuré (4 productions)). Dans de rares cas, la synchronisation s'appuie sur la pulsation puis sur la fréquence de frappes (R22 Cycle enrichi (5 productions) et R24 Deux tempi (3 productions)).

Synchronisation avec l'intensité perçue

Il est relativement difficile d'analyser la synchronisation des graphismes avec l'intensité des rythmes car cette propriété est associée aux éléments agogiques et ceux-ci priment dans l'analyse audiovisuelle. L'analyse est facilitée lorsque l'intensité est l'unique élément variant du pattern. Les items R10 Graphisme boucle, R13 *Crescendo* et R14 *Decrescendo* ne laissent pas d'autre choix à l'enfant que de synchroniser son graphisme avec l'intensité des frappes. Effectivement, ces rythmes favorisent la synchronisation motrice suivant l'intensité :

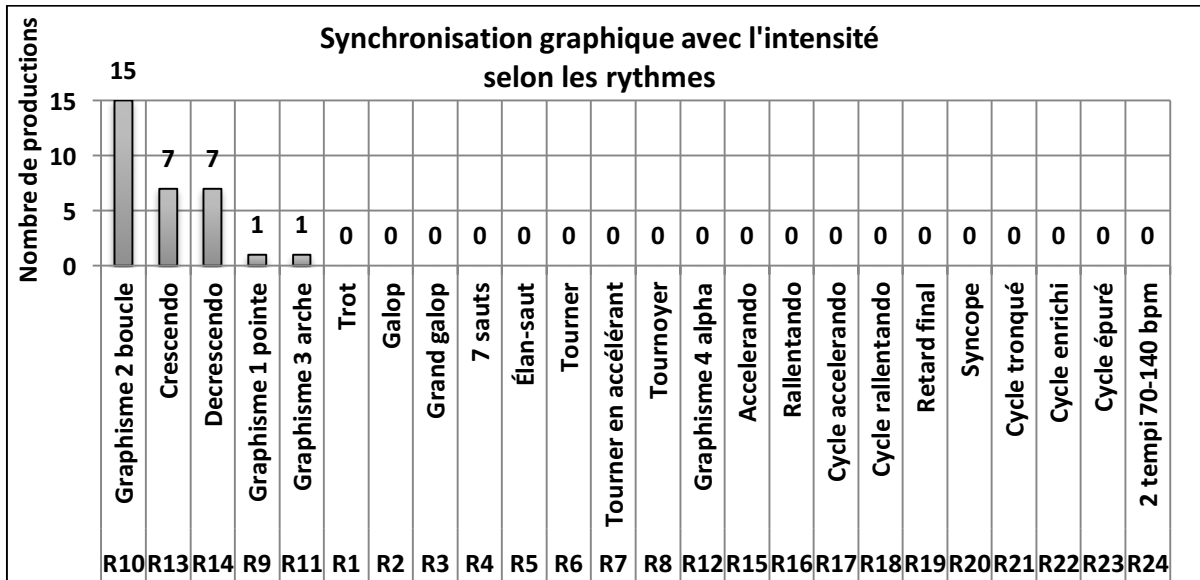


Figure 153: Synchronisation graphique avec l'intensité, selon le rythme

Pour ces mêmes rythmes, dans un très grand nombre de cas la synchronisation avec l'intensité ne s'effectue qu'en partie sur cet élément rythmique :

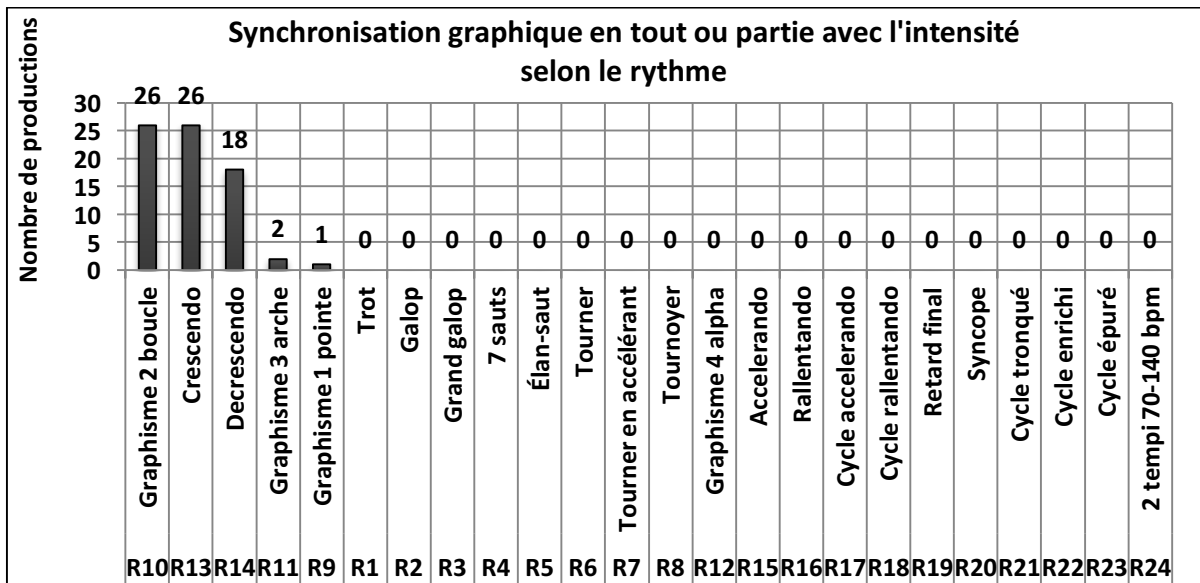


Figure 154: Synchronisation graphique en tout ou partie avec l'intensité, selon le rythme

La synchronisation graphique est plus performante durant le R13 *Crescendo* que le R14 *Decrescendo*. Quelques enfants ont toutefois tendance à se désynchroniser durant le *crescendo*, du fait de l'entraînement du mouvement graphique. Le *decrescendo* débute par un *forte* qui engendre une grande excitation motrice initiale difficilement contrôlée vers moins de mouvements. Les réactions de décélération graphique sont tardives et ne se produisent que lorsque l'intensité du rythme est nettement plus faible. Par ailleurs, ce rythme engendre plus

de productions asynchrones et d'irrégularités dans la vitesse : ralentir semble poser plus de difficultés motrices qu'accélérer.

7.2.3 Synchronisation du graphisme avec le rythme selon les sujets

La synchronisation volontaire implique une coordination sensori-motrice qui se développe peu à peu. L'enfant de cinq ans n'est pas encore totalement distancié de l'action : il capte sur le vif le message sonore, laisse des traces grapho-motrices des informations de l'organisation temporelle qu'il perçoit. Ses mouvements graphiques peuvent être sans régularité apparente ou avec régularité, et dans ce cas, se produire indépendamment du rythme ou être synchronisé avec divers éléments rythmiques comme la pulsation ou suivant des événements sonores de surface.

7.2.3.1 Variabilité interindividuelle

La synchronisation est un phénomène psychologique robuste car il est vital pour la performance motrice. Les résultats de l'analyse de la concordance des éléments graphiques avec des éléments rythmiques indiquent d'importantes variations entre les sujets :

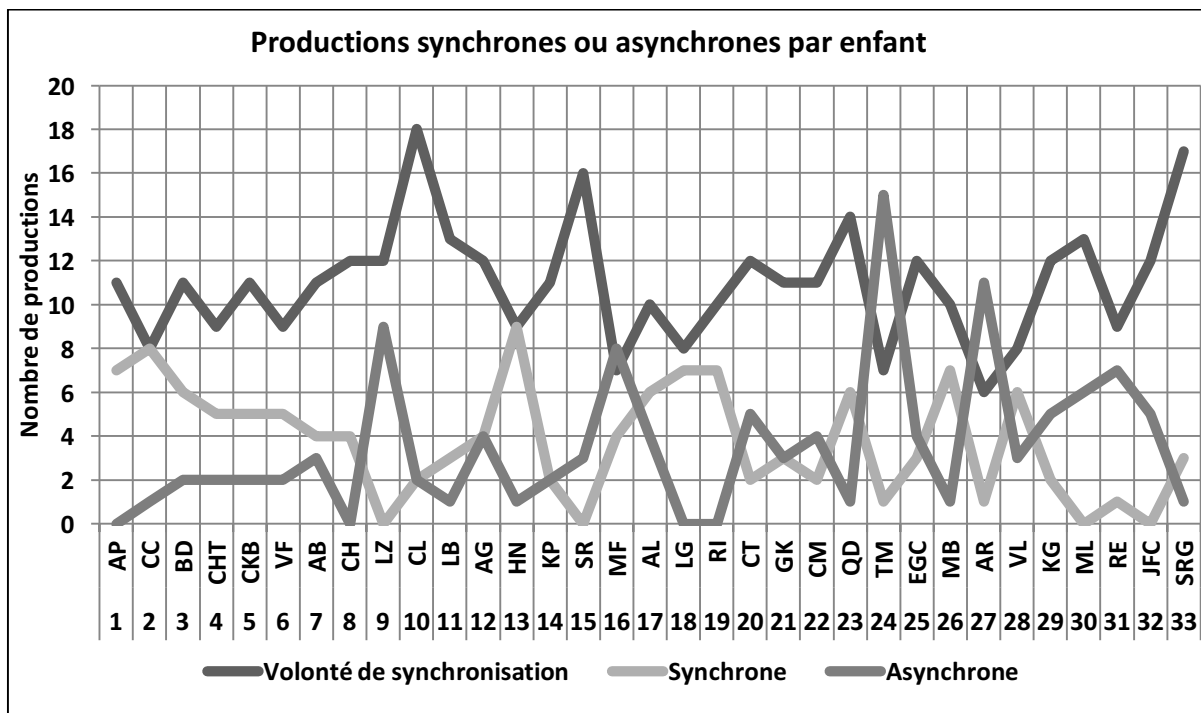


Figure 155: Productions graphiques synchrones ou asynchrones par enfant

Degré de synchronisation audiographique selon le genre des sujets

La comparaison des performances de synchronisation entre filles et garçons indique que cette compétence est peu dépendante du genre des sujets :

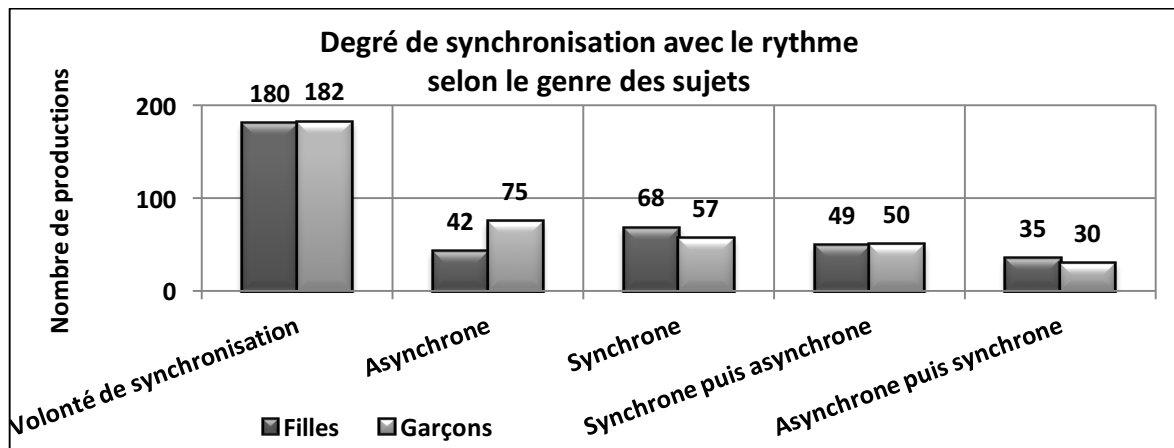


Figure 156: Degré de synchronisation avec le rythme selon le genre des sujets

Les garçons ont tendance à être moins performants que les filles dans l'aptitude à la précision de leur coordination audio-motrice. Ils sont sensiblement moins synchrones (45%), plus nettement asynchrones (65%) et montrent moins de capacité à synchroniser leur graphisme avec le son en cours de production (45%).

Degré de synchronisation audiographique selon l'âge des sujets

L'âge, à quelques mois près, est une variable individuelle plus significative pour la performance de synchronisation du graphisme avec le rythme :

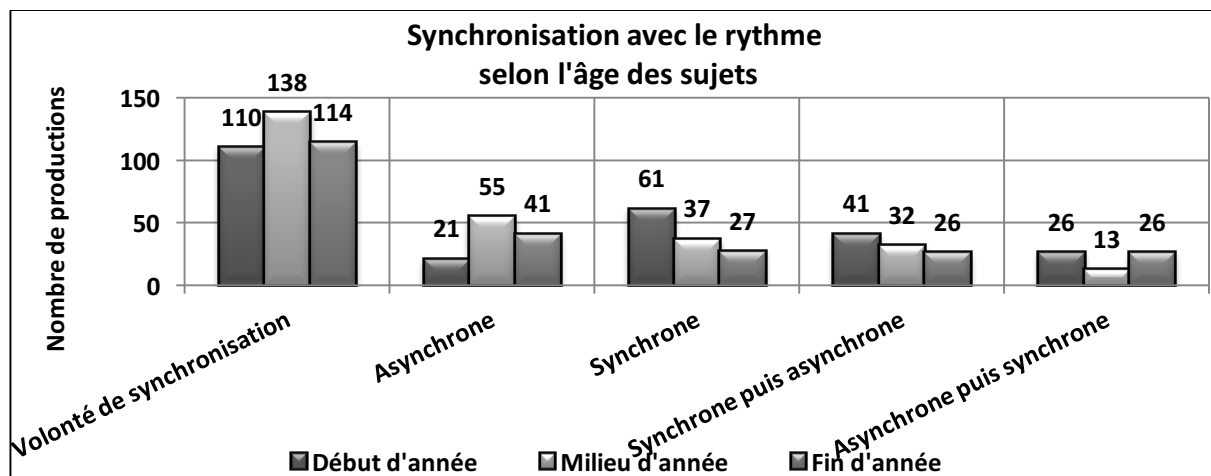


Figure 157: Synchronisation avec le rythme, selon l'âge des sujets

Les sujets plus âgés ont une plus grande aptitude à se synchroniser de façon précise ou approximative. Ils sont nettement moins asynchrones et se synchronisent en cours de production. Les plus jeunes sont moins précis mais sont capables de se synchroniser en cours d'item. Enfin, les enfants du milieu d'année sont plus asynchrones mais ils sont dans la catégorie intermédiaire quant à l'aptitude générale de coordination sensori-motrice.

Concernant la stabilité des performances individuelles de synchronisation du graphisme avec le son, on observe d'importantes variations selon les sujets :

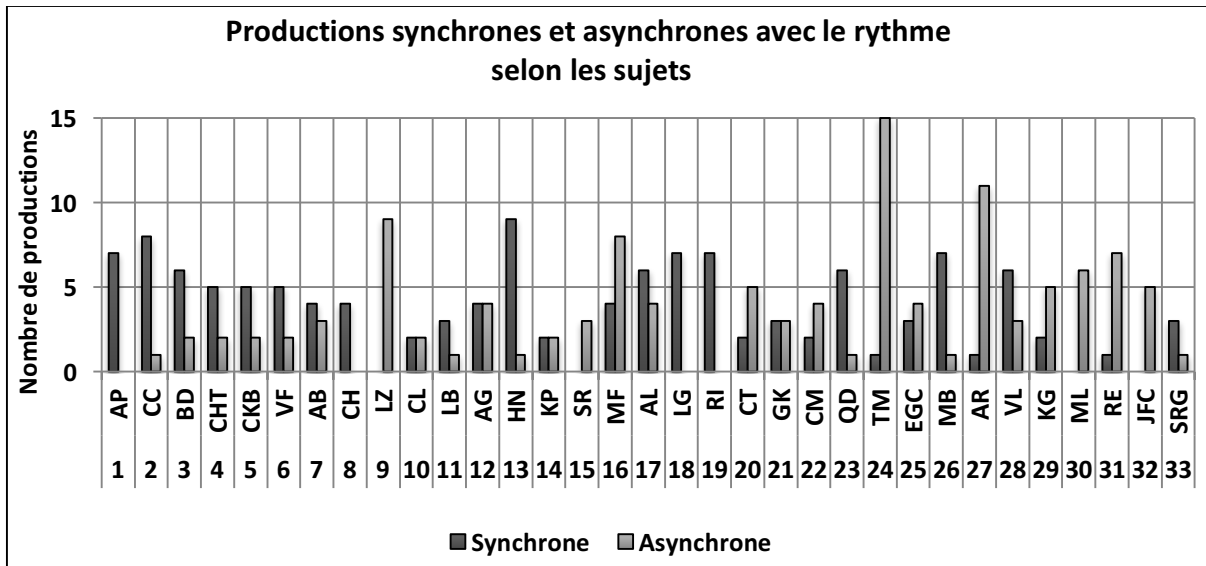


Figure 158: Productions synchrones ou asynchrones selon les sujets

On distingue des individus particulièrement synchrones (F09HN, F03CC, F02AP, G01LG, G01RI, G06MB), d'autres, nettement moins performants (G05TM, G08AR, F11MF, G11RE). Enfin, quelques sujets ne présentent aucune production synchrone avec le son (F06LZ, G11ML, G12JFC, F10SR).

Une grande partie des enfants font preuve d'une volonté de synchroniser leur graphisme avec le son, quelques-uns produisant un grand nombre de graphismes approximativement synchrones avec le rythme (F07CL, F10SR, G05QD, G12SRG) :

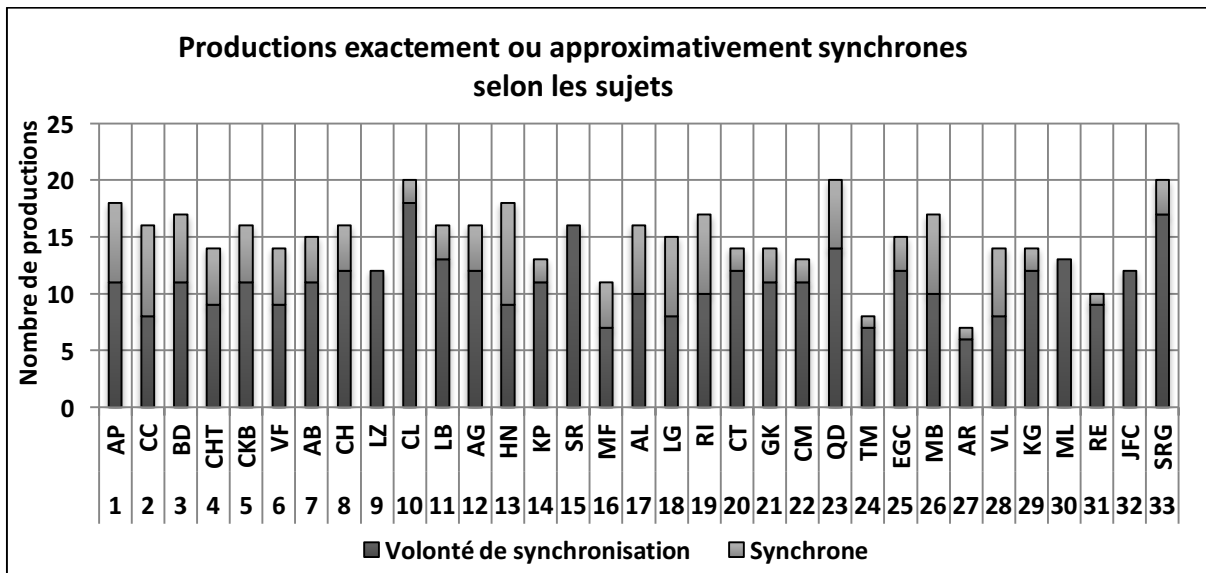


Figure 159: Productions exactement ou approximativement synchrones selon les sujets

Enfin, quelques cas intermédiaires présentent des difficultés de synchronisation en début d'item ou encore de maintien de la coordination avec le son :

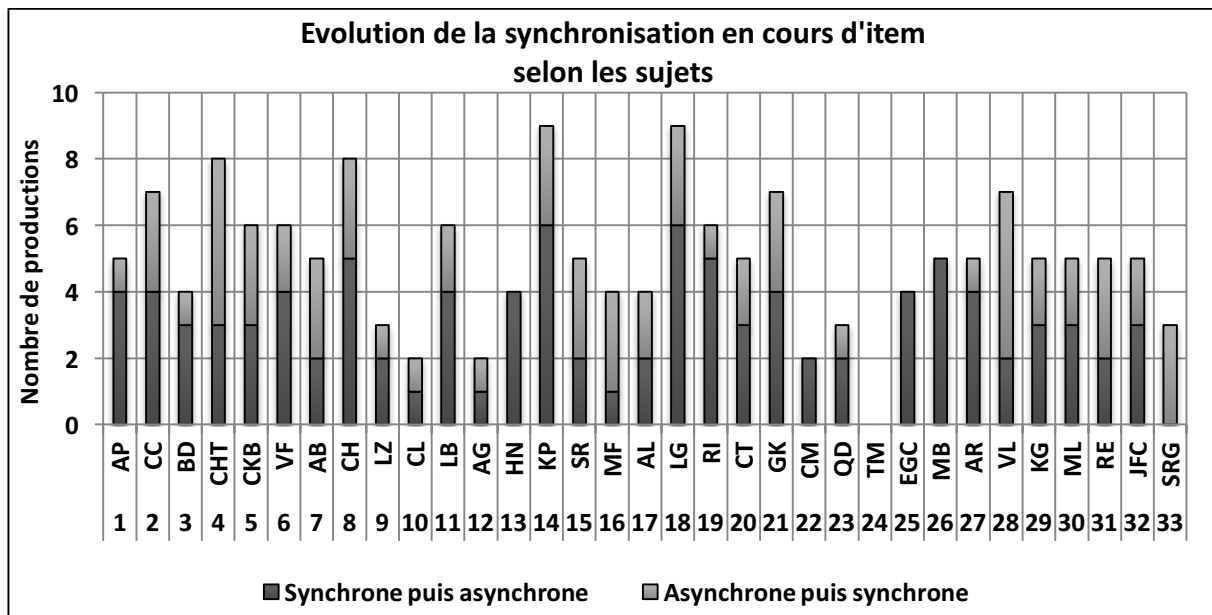


Figure 160: Evolution de la synchronisation en cours d'item selon les sujets

Trois sujets se désynchronisent souvent en cours de pattern (F09HN, G06EGC, G06MB) tandis que deux autres se synchronisent plus fréquemment (F04CHT et G09VL).

7.2.3.2 Eléments rythmiques de synchronisation selon les sujets

- **Elément unique**

Des enfants synchronisent leurs productions graphiques avec un seul élément rythmique, la pulsation, les frappes, la fréquence de frappes ou l'intensité.

Synchronisation avec la pulsation ou les frappes

Ce sont les deux éléments rythmiques de synchronisation graphique auxquels les enfants se réfèrent le plus souvent, hormis G05TM, enfant très peu synchrones, et F06LZ :

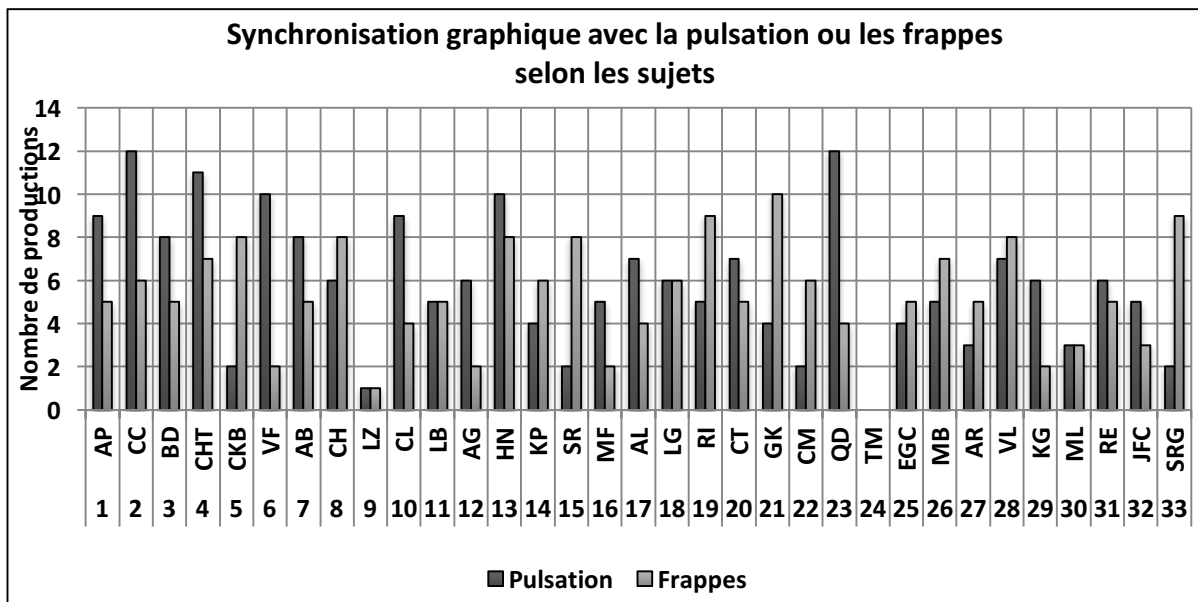


Figure 161: Synchronisation graphique avec la pulsation ou les frappes selon les sujets

Toutefois, quelques sujets privilégient l'un de ces deux éléments, ce qui indique une écoute et un choix propres à ces individus : F04CKB, F10SR et G12SRG coordonnent leurs mouvements graphiques avec les frappes, F04VF et G05QD avec la pulsation.

Synchronisation avec la fréquence de frappes

La fréquence de frappes du rythme est un élément d'appui de la synchronisation graphique dans le cas où l'intervalle entre les frappes est trop bref pour permettre la synchronisation avec les frappes séparées. Le comportement moteur observé est une adaptation de la vitesse graphique avec la vitesse de déroulement des événements graphiques. 26 individus sur les 33 participants y recourent au moins une fois, ce qui montre que la compétence est accessible à presque tous les sujets du groupe étudié. Quelques individus y recourent plus fréquemment, en particulier F08AG :

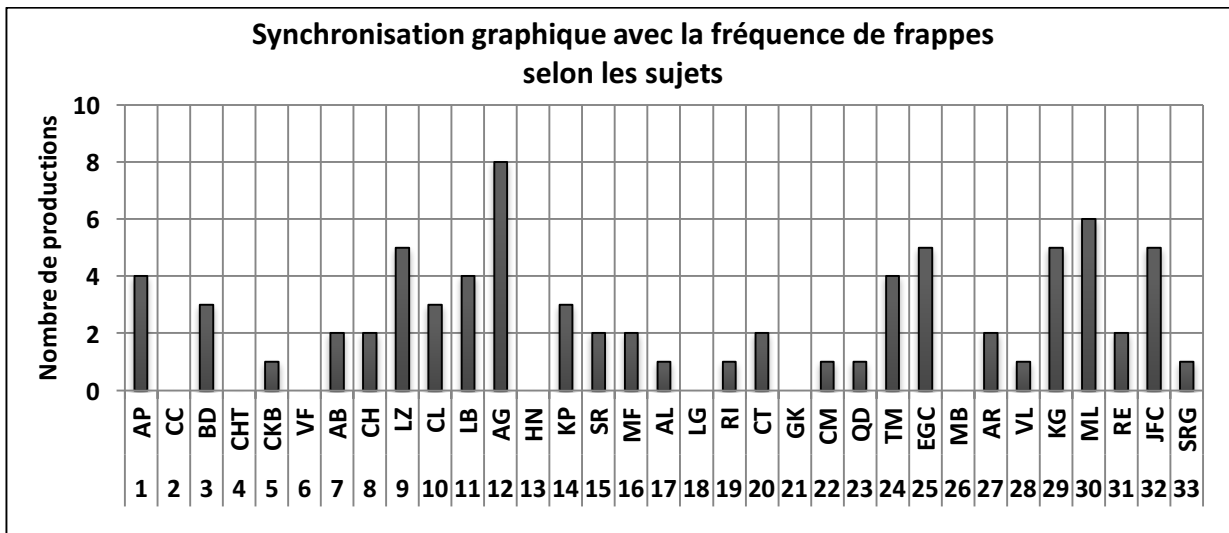


Figure 162: Synchronisation graphique avec la pulsation ou les frappes selon les sujets

Synchronisation avec l'intensité

Chaque enfant y recourt au moins une fois, hormis 3 cas, ce qui s'explique par le fait que seuls trois rythmes (R10 Graphisme Boucle, R13 *Crescendo* et R14 *Decrescendo*) offrent la possibilité de synchroniser le graphisme avec la dynamique du rythme.

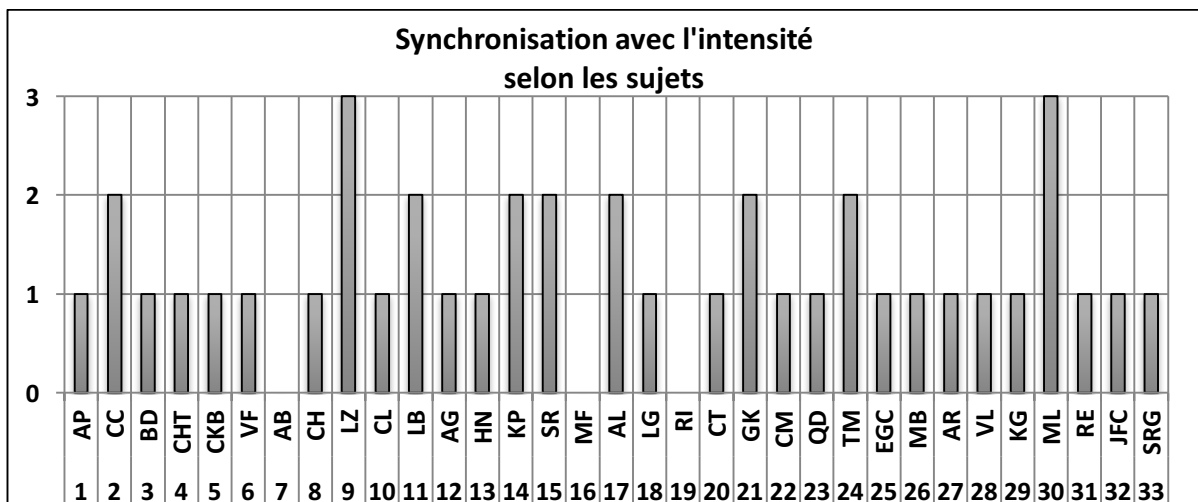


Figure 163: Synchronisation graphique avec l'intensité, selon les sujets

- **Éléments rythmiques successifs de synchronisation**

Ces productions montrent une instabilité de la référence rythmique durant la production graphique mais également l'adaptabilité des sujets qui modifient leur point de vue lors de l'écoute d'un pattern rythmique court.

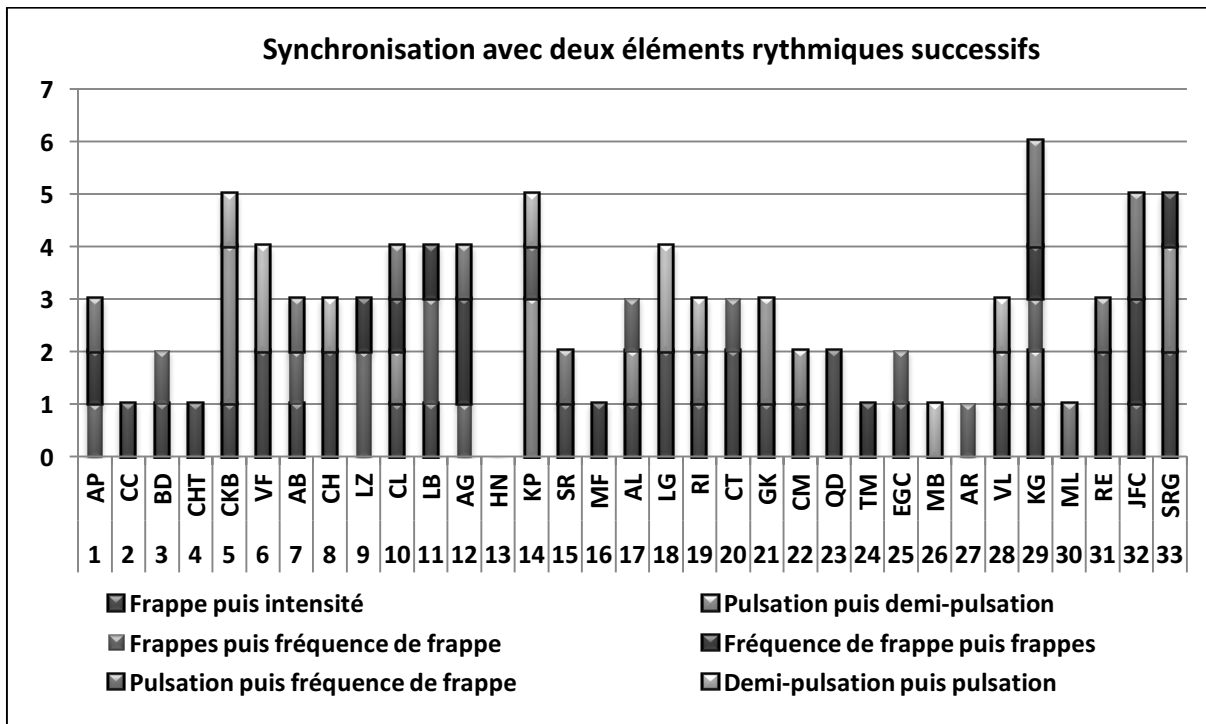


Figure 164: Synchronisation avec deux éléments rythmiques successifs, selon les sujets

Hormis l'enfant F09HN qui recourt à un seul élément rythmique de synchronisation graphique, tous les sujets se réfèrent au moins une fois à deux éléments rythmiques successifs au cours de la production. G11KG varie le plus souvent de type d'éléments et dans le plus de cas, suivi de F04CKB, F09KP, puis G12JFC et G11SRG.

- **Éléments rythmiques de synchronisation selon le genre des sujets**

Le genre ne paraît pas être un facteur dont dépend le choix d'éléments rythmiques de synchronisation :

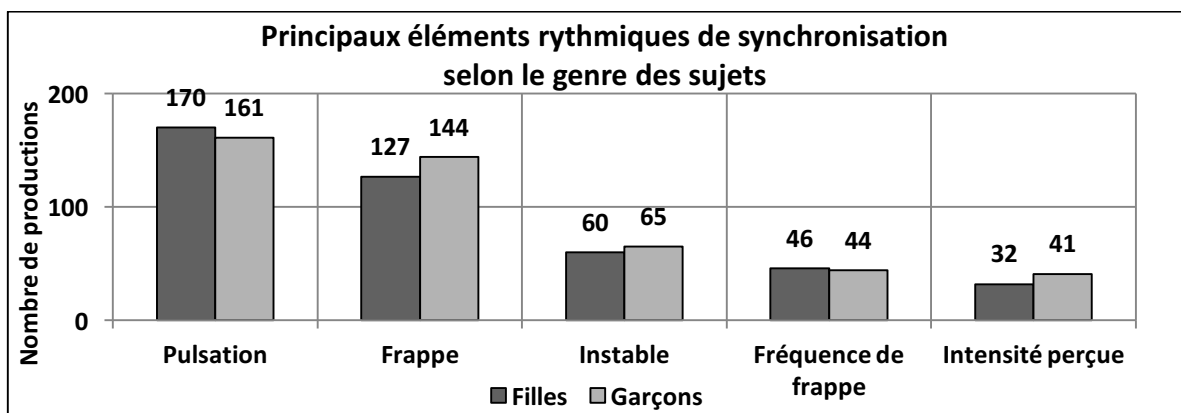


Figure 165: Principaux éléments rythmiques de synchronisation selon le genre des sujets

- **Éléments rythmiques de synchronisation selon l'âge des sujets**

Le choix d'un seul élément de synchronisation durant l'écoute d'un pattern semble lié à la maturité des enfants :

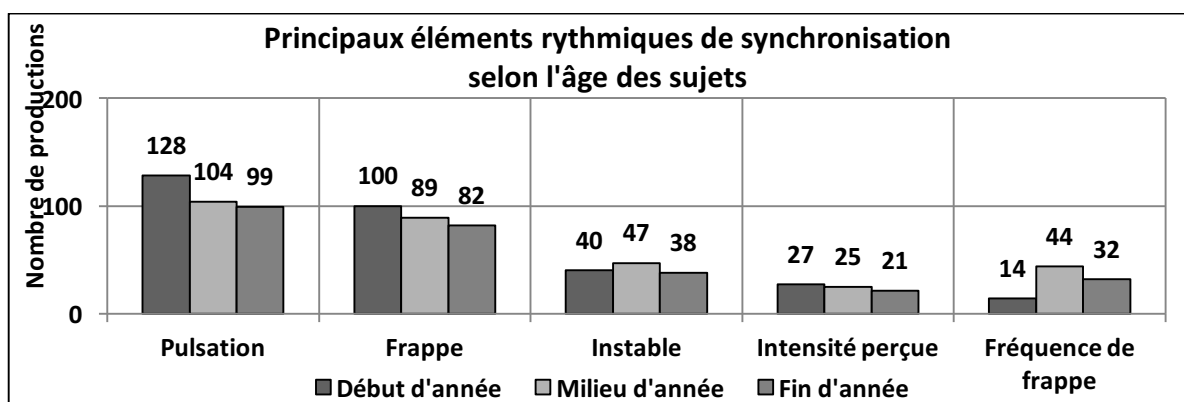


Figure 166: Principaux éléments rythmiques de synchronisation selon l'âge des sujets

Les plus âgés coordonnent leur graphisme avec un seul élément durant le pattern (42% pour la pulsation, 38% pour les frappes et 40% pour la demi-pulsation) mais synchronisent peu leur graphisme suivant la fréquence de frappes, contrairement aux plus jeunes.

7.2.3.3 Corrélation de l'intensité perçue et de la vitesse graphique, par enfant

La méthode de calcul des taux de corrélation maximale de la vitesse graphique et de l'intensité des rythmes permet d'apporter quelques précisions quant à la synchronisation du mouvement graphique avec le rythme, selon les sujets. Sur le plan rythmique, cette méthode présente l'intérêt d'étudier des facteurs rythmiques combinés car la courbe de l'intensité perçue dans le temps évolue suivant l'instant des frappes. Sur le plan graphique, elle prend en considération le mouvement, avec l'évolution temporelle de la vitesse de traçage.

Le taux de corrélation maximale vitesse-intensité semble peu varier selon le genre des sujets :

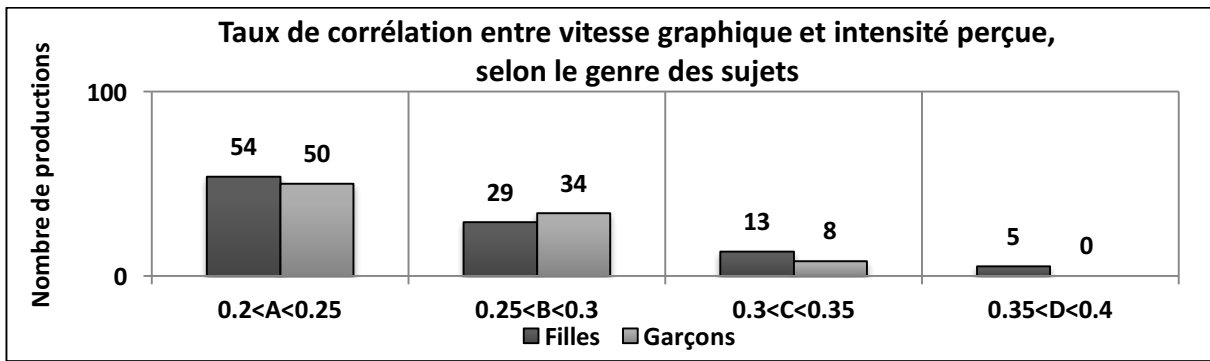


Figure 167: Taux de corrélation entre vitesse du traçage graphique et intensité du rythme, selon le genre des sujets

On note cependant que la valeur de corrélation maximum de l'intensité perçue dans les rythmes et de la vitesse du traçage graphique est sensiblement supérieure chez les filles. Quelques-unes de leurs productions sont plus fortement corrélées avec l'intensité des rythmes (seuil de 0.3). Ceci est conforme au résultat issu de l'analyse audiovisuelle avec la tendance des garçons à être moins précis dans la coordination audiomotrice.

L'analyse du taux de corrélation maximale vitesse-intensité selon l'âge des sujets indique la tendance des enfants les plus jeunes à être moins précis dans l'appariement de leur vitesse graphique et de l'intensité du rythme :

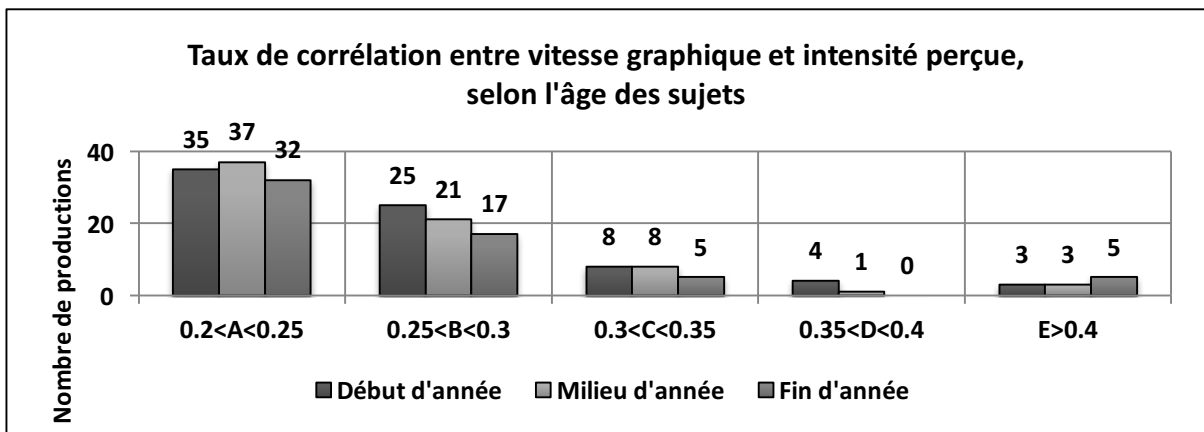


Figure 168: Taux de corrélation entre vitesse graphique et intensité perçue, selon l'âge des sujets

On compare des résultats d'appariement de propriétés graphiques et rythmiques obtenus à l'issue de l'analyse des données par la méthode audiovisuelle et par le calcul de corrélation entre courbe de vitesse graphique et courbe d'intensité du rythme, chez des sujets aux comportements audiomoteurs remarquables, particulièrement synchrones ou asynchrones. Dans une étude de cas, on recherche si la valeur de corrélation maximale de courbes de

vitesse graphique et d'intensité est plus élevée dans les productions de sujets estimés performants dans la synchronisation avec les rythmes par la méthode audiovisuelle, et inversement, si ces valeurs sont remarquablement faibles dans les productions d'enfants estimés asynchrones avec le rythme.

Ceci est vérifié par la comparaison des résultats de corrélation vitesse-intensité chez l'enfant F09HN, estimé le plus performant du groupe en matière de synchronisation, comparé à l'enfant G08AR, le moins synchrone. Ainsi, dans le cas du rythme R13 *Crescendo* qui engendre le plus de productions dont la vitesse graphique est la plus fortement corrélée à l'intensité, la valeur de corrélation maximale des deux sujets est relativement élevée, celle de F09HN (0.45) étant supérieure à celle de G08AR (0.3) :

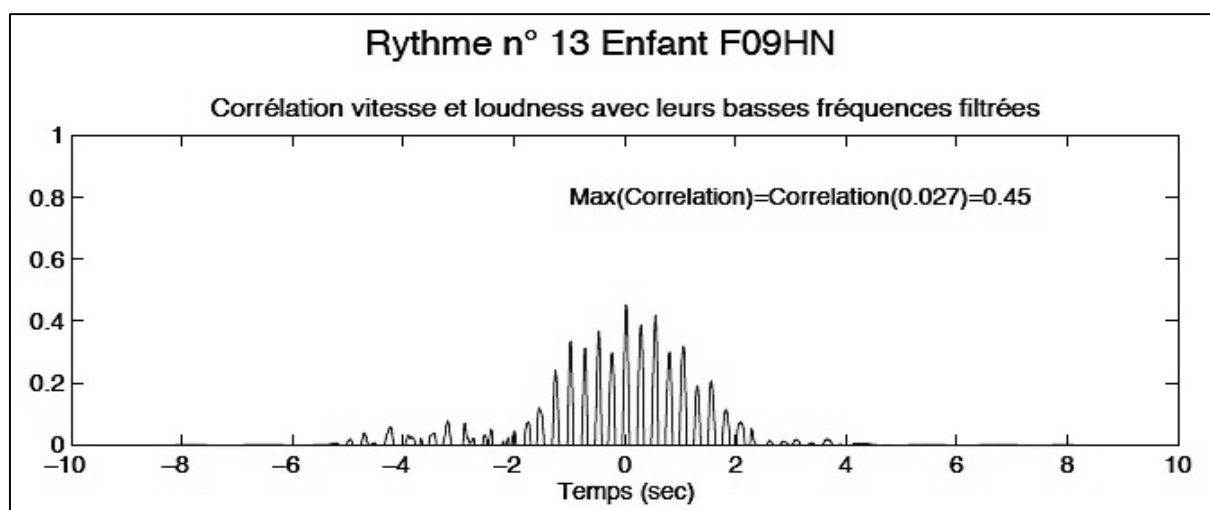


Figure 169: Graphe de corrélation de la vitesse de traçage et de l'intensité du rythme, enfant F09HN, rythme 13 *Crescendo*

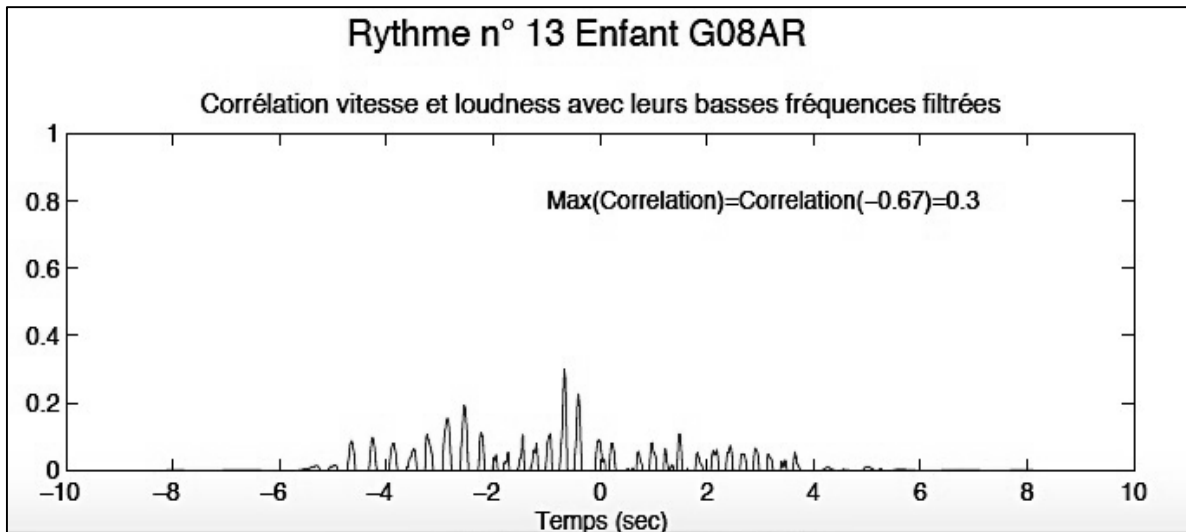


Figure 170: Graphe de corrélation de la vitesse de traçage et de l'intensité du rythme, enfant G08AR, rythme 13 *Crescendo*

Dans le cas du rythme R19 Retard final, dont les productions graphiques indiquent une faible corrélation de la vitesse et de l'intensité, la valeur de corrélation maximale est effectivement faible, celle de F09HN (0.17) est supérieure à celle de G08AR (0.15) :

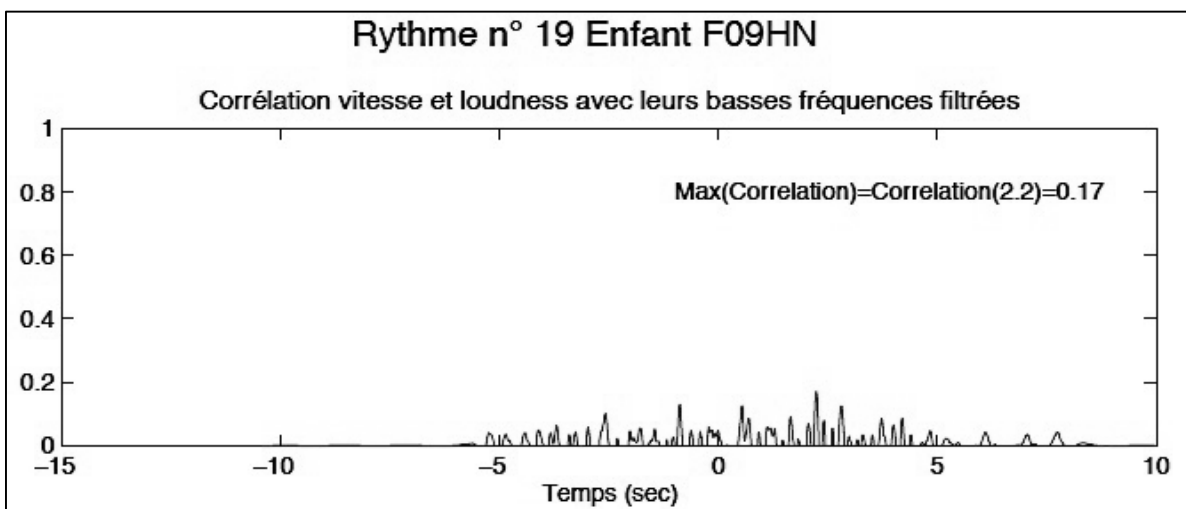


Figure 171: Graphe de corrélation de la vitesse de traçage et de l'intensité du rythme, enfant F09HN, rythme 19 Retard final

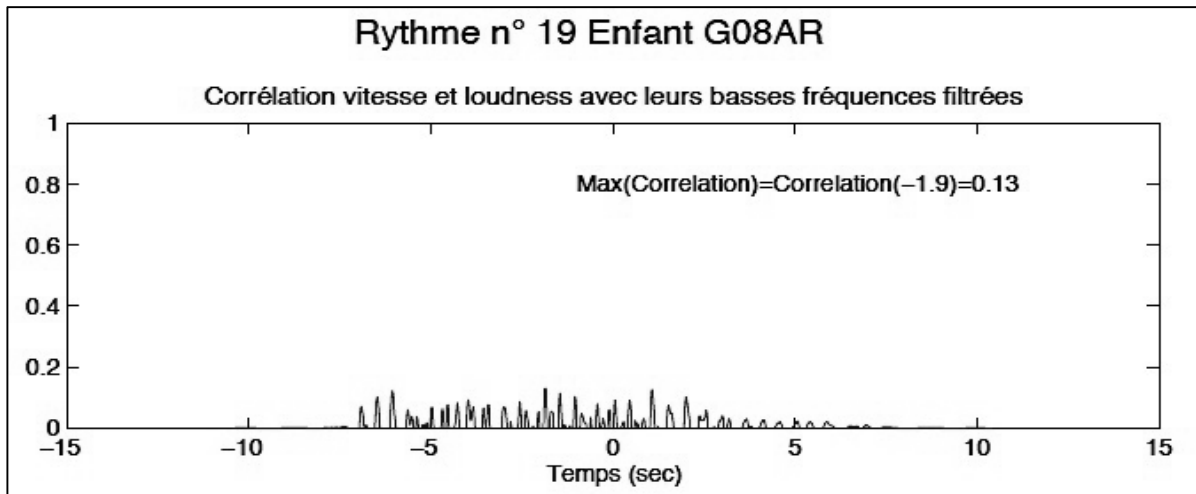


Figure 172: Graphe de corrélation de la vitesse de traçage et de l'intensité du rythme, enfant G08AR, rythme 19 Retard final

Dans le cas du rythme R12 Graphisme 4 alpha, qui engendre le moins de productions corrélatant vitesse et intensité, la valeur de corrélation maximale est effectivement encore plus faible, celle de F09HN (0.14) étant toutefois inférieure à celle de G08AR (0.15) :

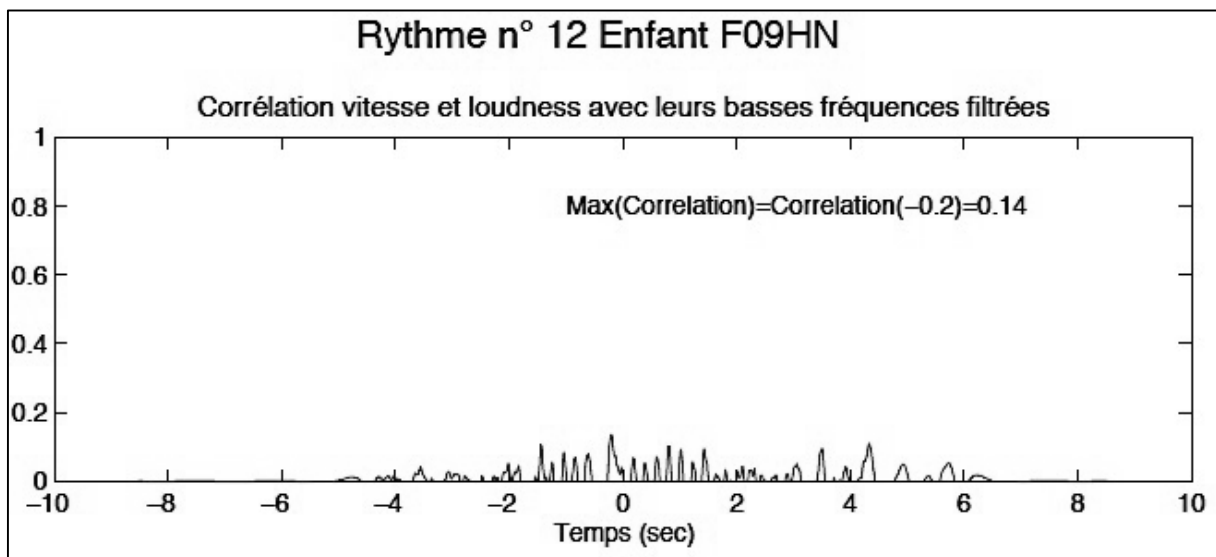


Figure 173: Graphe de corrélation de la vitesse de traçage et de l'intensité du rythme, enfant F09HN, rythme 12 Graphisme 4 alpha

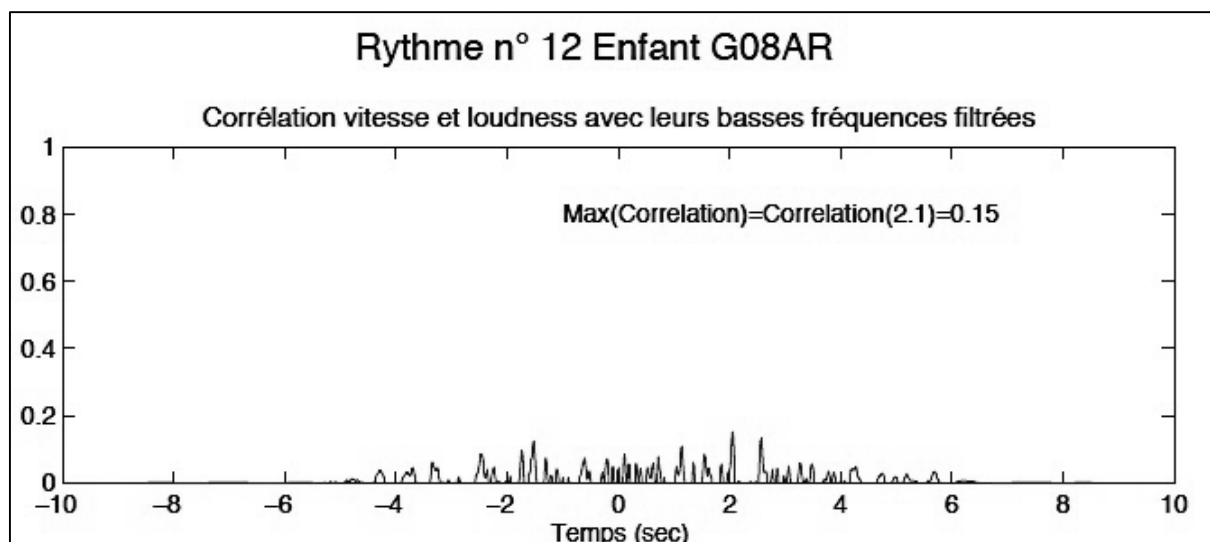


Figure 174: Graphe de corrélation de la vitesse de traçage et de l'intensité du rythme, enfant G08AR, rythme 12 Graphisme 4 alpha

Concernant les taux de corrélation par sujet, on observe différents degrés d'appariement vitesse-intensité chez les 33 individus :

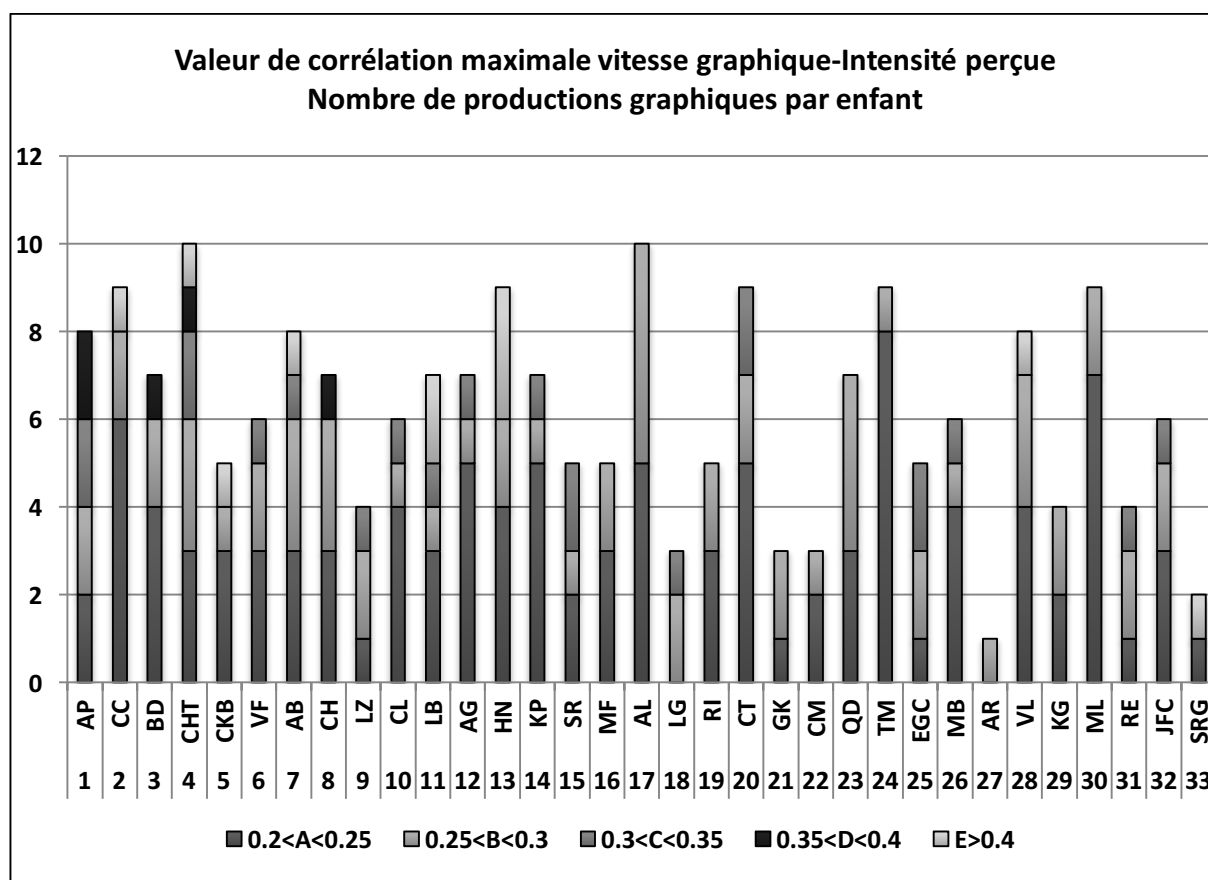


Figure 175: Valeur de corrélation maximale de la vitesse de traçage et de l'intensité du rythme, par enfant

L'analyse audiovisuelle a permis de distinguer trois catégories d'individus : synchrones (++), plus souvent asynchrones (+/-) ou ne produisant aucune représentation synchrone avec le son (--). On compare les performances de ces trois groupes d'enfants selon les deux méthodes d'analyse de l'appariement des données rythmiques et graphiques :

Méthode d'analyse des productions	Audiovisuelle			Calcul de corrélation Intensité-vitesse graphique		
	++	+/-	--	++	+/-	--
Aptitude à la synchronisation						
Enfants	F09HN			F09HN		
	F03CC			F03CC		
	F02AP			F02AP		
	<i>G01LG</i>				<i>G01LG</i>	
	<i>G01RI</i>				<i>G01RI</i>	
	<i>G06MB</i>				<i>G06MB</i>	
				F04CHT		
		G05TM			G05TM	
		<i>G08AR</i>				<i>G08AR</i>
		<i>F11MF</i>				<i>F11MF</i>
			F06LZ			F06LZ
			<i>G11ML</i>		<i>G11ML</i>	
			<i>G12JFC</i>		<i>G12JFC</i>	
			<i>F10SR</i>		<i>F10SR</i>	

Tableau 84: Aptitude à la synchronisation suivant la méthode d'analyse audiovisuelle et la méthode de calcul

Les deux méthodes d'analyse d'appariement de propriétés sonores et graphiques aboutissent globalement aux mêmes résultats quant aux performances de synchronisation des sujets les plus typiques (en caractères gras dans le tableau). Les résultats varient sensiblement dans quelques cas d'enfants peu ou pas synchrones (en italique). Ils sont discordants dans le cas de l'enfant F04CHT : les vitesses de ses productions graphiques se révèlent assez fortement corrélées à l'intensité des rythmes alors que l'analyse audiovisuelle de ses productions n'indique pas de performance remarquable dans la synchronisation des graphismes avec les rythmes. Le visionnage renouvelé de ses traçages amène à confirmer des qualités de synchronisation du mouvement graphique avec l'intensité, mais sur une durée

limitée de l'item¹¹, ce qui a modéré l'estimation de ses performances de synchronisation. Les statistiques issues des calculs de corrélation sont établies sur la valeur maximale de corrélation de la courbe de vitesse avec la courbe d'intensité. De ce fait, elles tendent à situer l'enfant F04CHT parmi les plus performants du groupe dans sa capacité à coordonner momentanément mais précisément ses mouvements graphiques avec l'intensité du rythme.

Dans quelques productions graphiques des trois sujets¹², F02AP, F03CC et F09HN, la valeur maximale de corrélation de la vitesse graphique et de l'intensité perçue dans le son est suffisamment élevée pour que l'on puisse considérer qu'il y a une ressemblance entre les profils temporels de ces deux propriétés. Puisque le profil temporel de l'intensité intègre des données agogiques¹³, et supposant que les propriétés dynamo-agogiques sont vectrices de *mouvement* sonore, on peut considérer les mouvements graphiques de ces productions comme les plus ressemblants au *mouvement* des rythmes. Un visionnage de l'ensemble de leurs traçages sonores (Cf. DVD en 3^e de couverture. 3-Vidéos : traçages sonores par enfant (33). F02AP¹⁴, F03CC et F09HN) permettra de constater la qualité de synchronisation et la variété de leurs mouvements graphiques. L'attention pourra être portée sur les productions sélectionnées¹⁵ suivant la valeur de seuil de corrélation vitesse-intensité.

7.2.4 Bilan

La synchronisation du graphisme avec les propriétés des rythmes permet d'analyser la perception et la représentation d'événements rythmiques saillants pour l'enfant de cinq ans.

L'expérience montre que certaines caractéristiques rythmiques facilitent les interactions auditives et motrices : des rythmes favorisent la synchronisation graphique selon des propriétés de simplicité, de périodicité, d'accentuation, de segmentation interne et de groupement en motifs, de cyclicité, sans *rallentando*, et de tempi proches du tempo moteur spontané des enfants de cinq ans. A contrario, les structures plus complexes ou plus irrégulières provoquent une arythmie motrice de même qu'une fréquence de frappes trop élevée provoque une désynchronisation du graphisme en cours d'item.

¹¹ Il démarre tardivement son traçage en particulier sur les rythmes R13 *Crescendo* et R14 *Decrescendo*.

¹² Trois filles, dont deux parmi les plus âgées du groupe étudié.

¹³ Les pics d'intensité perçue se produisent à l'instant des frappes.

¹⁴ Sur les traçages de F09HN de R15 à R22 et R24, omettre les tracés noirs non visibles par l'enfant au moment de son traçage.

¹⁵ Seuil de corrélation > 0.4 : R1F02AP, R1F09HN, R1F03CC. Seuil de corrélation > 0.35 : R13F09HN. Seuil de corrélation > 0.3 : R4F02AP, R14F09HN. Seuil de corrélation > 0.25 : R20F02AP, R21F02AP. Seuil de corrélation > 0.2 : R2F02AP, R3F03CC, R13F02AP, R17F09HN, R20F09HN, R21F03CC.

Les éléments rythmiques de référence pour ces sujets sont préférentiellement la pulsation couplée à l'effet du tempo assez élevé. Un phénomène intéressant apparaît avec la synchronisation de la vitesse graphique avec l'évolution de la fréquence de frappes.

Sur le plan de l'intersubjectivité, on constate que les productions sont rarement indépendantes des rythmes : une majorité des sujets montre une volonté de synchroniser son graphisme. Cependant, les individus présentent des aptitudes audio-motrices différentes qui engendrent d'importantes variations dans les performances de coordination du graphisme avec le rythme. L'analyse de la variabilité interindividuelle indique que la variable de l'âge est plus significative que celle du genre, les sujets plus âgés, à quelques mois près, étant plus performants dans l'aptitude à synchroniser leur graphisme avec le rythme.

Enfin, les deux méthodes d'analyse de l'appariement entre rythme et graphisme, suivant l'évaluation audio-visuelle des performances de synchronisation et suivant le calcul de la valeur de corrélation entre les courbes d'évolution de l'intensité du rythme et de la vitesse graphique, aboutissent à sélectionner du corpus de données les productions graphiques de trois enfants¹⁶ dont la vitesse de mouvement graphiques est fortement appariée à l'évolution temporelle de l'intensité des rythmes. Ces propriétés dynamiques étant combinées à des propriétés agogiques, elles sont porteuses d'informations sur le *mouvement* des rythmes que ces enfants semblent particulièrement aptes à exprimer par leur mouvement graphique.

¹⁶ Trois filles, dont deux parmi les plus âgées du groupe étudié : F02AP, F03CC et F09HN.

8 Transduction d'informations de vitesse

Ce dernier chapitre est consacré aux résultats du test de transduction d'informations de vitesse qui concerne en particulier les quatre rythmes dits graphiques, R9 Graphisme 1 pointe, R10 Graphisme 2 boucle, R11 Graphisme 3 arche, R12 Graphisme 4 alpha.

On suppose qu'un rythme créé à la vision d'un traçage graphique permet à lui seul de transférer à l'auditeur des informations de vitesse du mouvement graphique initial, via les informations de vitesse véhiculées par les propriétés dynamo-agogiques du rythme. Cette hypothèse repose sur une hypothèse théorique de métamodalité du mouvement qui permet de penser que la vitesse, donnée abstraite du mouvement, peut être transférée d'une modalité à une autre. Toutefois, l'hypothèse posée ici est basse puisqu'il s'agirait d'un double transfert d'informations de vitesse, du graphisme originel au rythme puis du rythme au graphisme résultant. Pour la tester, on compare l'évolution de la vitesse de traçage d'un graphisme originel avec l'évolution de la vitesse de traçage du graphisme produit par l'auditeur lors de l'écoute du rythme qui a été créé suivant le traçage du graphisme originel. Si le profil temporel de vitesse graphique de l'auditeur a une allure similaire à celle du profil de vitesse graphique originel, alors le rythme percussif aura permis le transfert de cette information d'évolution temporelle de la vitesse graphique.

On a effectué initialement quatre traçages originels¹ en forme de pointe, boucle, arche et alpha (Cf. DVD Rom 1-Vidéos : traçages des 4 graphismes originels (4)) devant le percussionniste qui s'est inspiré du mouvement du traçage graphique pour créer quatre rythmes, R9 Graphisme 1 pointe, R10 Graphisme 2 boucle, R11 Graphisme 3 arche, R12 Graphisme 4 alpha (Cf. CD Plages 10 à 13). Lors de la passation, on a soumis ces quatre rythmes dits graphiques² aux 33 auditeurs de cinq ans qui ont produit des graphismes dits résultants. Le tableau suivant synthétise les trois étapes de l'expérience :

¹ Partant des courbes qui proviennent des formes élémentaires de *mouvement* musical déterminées par A. Truslit, hormis le premier graphisme (Cf. 2.2.2.1).

² Ils sont placés au cœur des 24 items suite à des rythmes très dynamogènes et avant des protorythmes, patterns opposés deux à deux.

A	B	C
GRAPHISMES originels Pointe Boucle Arche AlphaRYTHMES..... R9 Graphisme pointe R10 Graphisme boucle R11 Graphisme arche R12 Graphisme alphaGRAPHISMES résultants ? ? ? ?
Traçage initial de l'expérimentatrice	Rythme créé par le percussionniste suivant le traçage initial	Traçage final de l'enfant suite à l'audition du rythme
Vitesse graphique originelle	Informations de vitesse contenues dans la dynamo- agogique du rythme	Vitesse graphique résultante
Profil temporel de vitesse graphique	Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes	Profil temporel de vitesse graphique

Tableau 85: Etapes de l'expérience de transduction d'informations de vitesse

On procède à la comparaison des vitesses graphiques originelles et résultantes par deux méthodes : l'analyse visuelle de l'allure de profils temporels et l'analyse mathématique de calcul de la valeur de corrélation entre courbes de vitesse graphique.

8.1 Comparaison d'allure de profils temporels

Le rythme étant intermédiaire entre le graphisme originel et le graphisme résultant, il est nécessaire de comparer les profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme avec les profils temporels de vitesse du graphisme originel et des graphismes résultants. On suppose que les propriétés dynamo-agogiques du rythme sont porteuses d'informations sur le *mouvement*, c'est la raison pour laquelle on teste ici leur capacité à transférer une information de vitesse d'un mouvement graphique à l'autre.

Pour chaque graphisme pointe, boucle, arche et alpha, on comparera visuellement l'allure des profils temporels suivants :

- B et A : profils d'intensité et de fréquence de frappes du rythme créés à partir de l'observation du traçage du graphisme originel comparés au profil de vitesse du même graphisme ;
- C et B : profil de vitesse du graphisme résultant comparé aux profils d'intensité et de fréquence de frappes du rythme ;

- C et A : profil de vitesse du graphisme résultant comparé au profil de vitesse du graphisme originel.

Le tableau suivant exemplifie la comparaison de l'allure des différents profils temporels dans le cas du graphisme en forme d'arche :

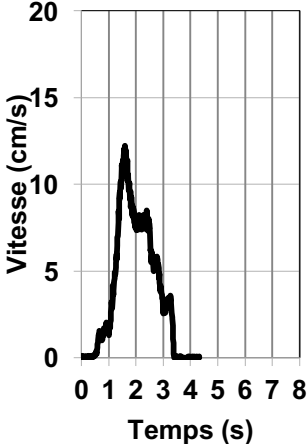
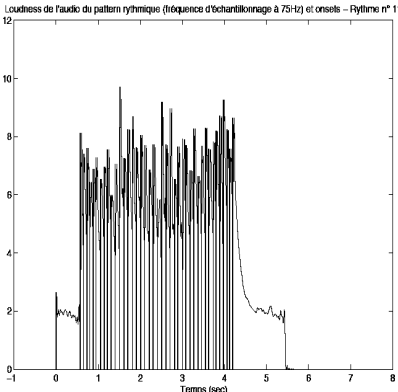
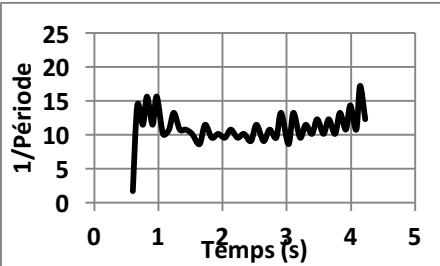
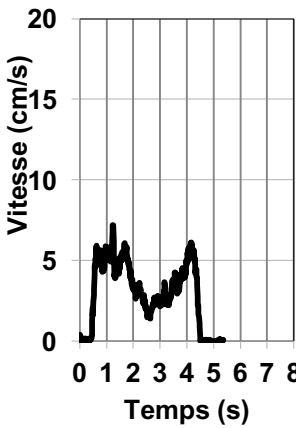
A	B	C
Vitesse du graphisme originel	Propriétés dynamo-agogiques du rythme créé par le musicien selon (A)	Vitesse du graphisme résultant de la seule audition du rythme
<p data-bbox="252 633 496 725">Vitesse de traçage d'une "arche graphique"</p> 	<p data-bbox="655 577 938 640">RYTHME 11 « Graphisme 2 Arche »</p> <p data-bbox="564 685 786 712">Profil d'intensité :</p>  <p data-bbox="564 1160 954 1187">Profil de fréquence de frappes :</p> 	<p data-bbox="1107 633 1351 757">Vitesse de traçage Rythme11 Arche graphique Gaspard</p> 

Tableau 86: Comparaison des profils temporels du graphisme originel « Arche », du rythme 11 « Graphisme alpha » et du graphisme résultant de l'enfant Gaspard

On trouvera dans le DVD Rom en 3^e de couverture l'ensemble des fichiers de calcul Excel ayant permis de représenter les trajectoires et les profils temporels de la vitesse de traçage des graphismes originels (Dossier 4-Fichiers Excel³ : trajectoires et profils temporels de vitesse des 4 graphismes originels (4)), et des graphismes résultants (Dossier 5-Fichiers Excel : trajectoires et profils temporels de vitesse graphique par rythme (24) ; sous-dossiers : R9 vitesse graphisme en cm/s, R10 vitesse graphisme en cm/s, R11 vitesse graphisme en cm/s, R12 vitesse graphisme en cm/s).

³ Pour une lecture optimale, copier le dossier sur l'ordinateur.

8.1.1 Graphisme originel « pointe »

La trajectoire du graphisme originel « pointe » est la suivante :

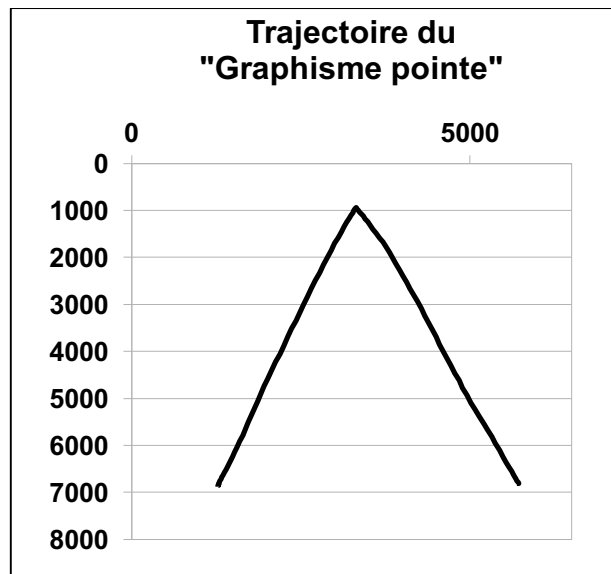


Figure 176: Trajectoire numérisée du graphisme originel « Pointe »

8.1.1.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « pointe »

Le profil temporel de la vitesse de traçage de la pointe est formé de deux cloches presque identiques :

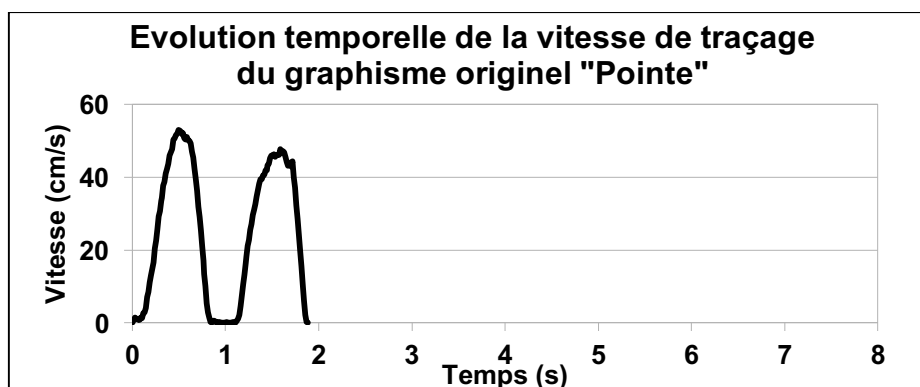
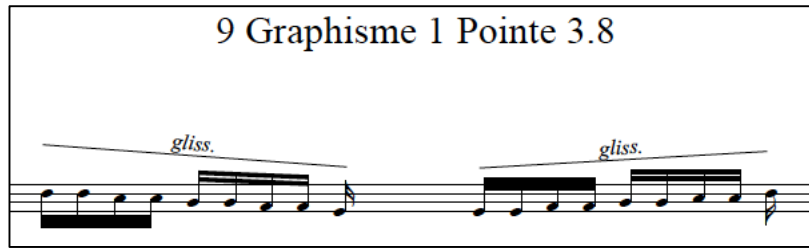


Figure 177: Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « Pointe »

8.1.1.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 9 « Graphisme 1 pointe »

A partir de l'observation du traçage de cette « pointe », le percussionniste produit le rythme 9 « Graphisme 1 pointe » :



Exemple musical 150: Rythme 9 « Graphisme 1 Pointe »

dont le profil temporel d'intensité perçue et de l'instant des frappes est le suivant :

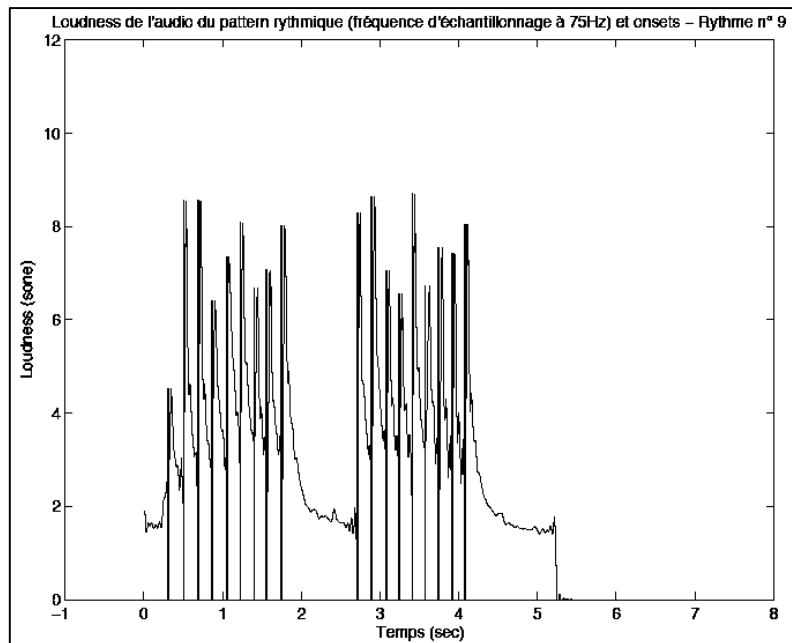


Figure 178: Profil temporel d'intensité perçue du rythme 9 « Graphisme 1 pointe »

La fréquence de frappes du rythme 9 évolue selon le profil suivant :

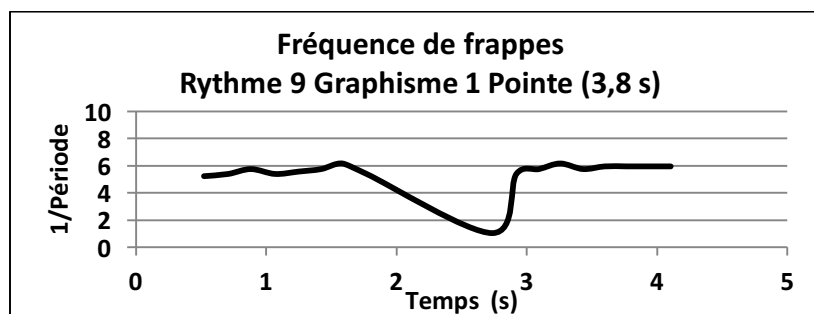
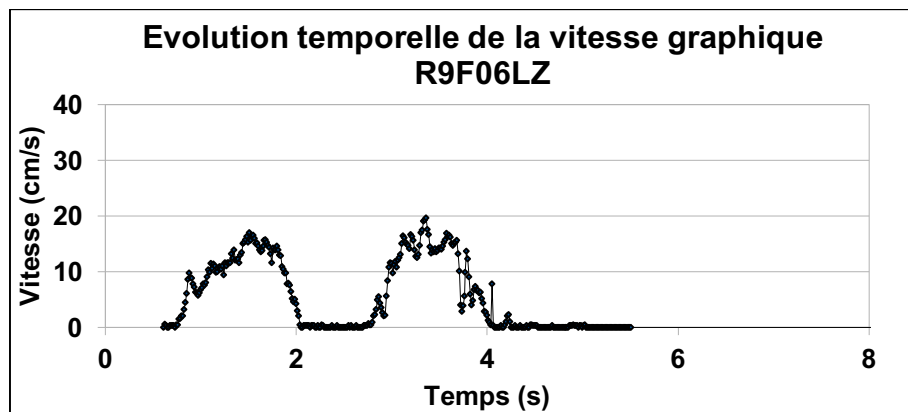
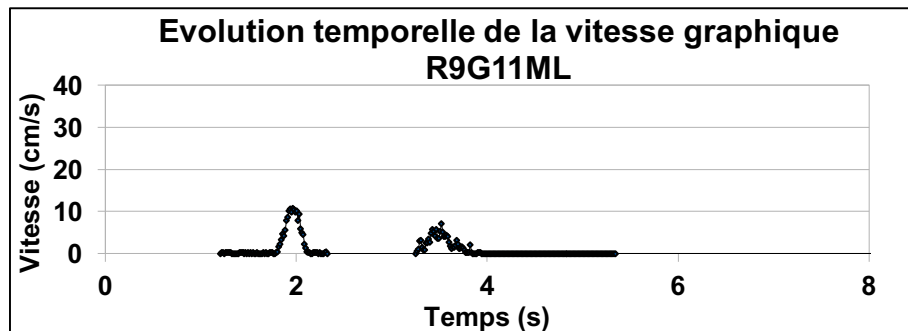
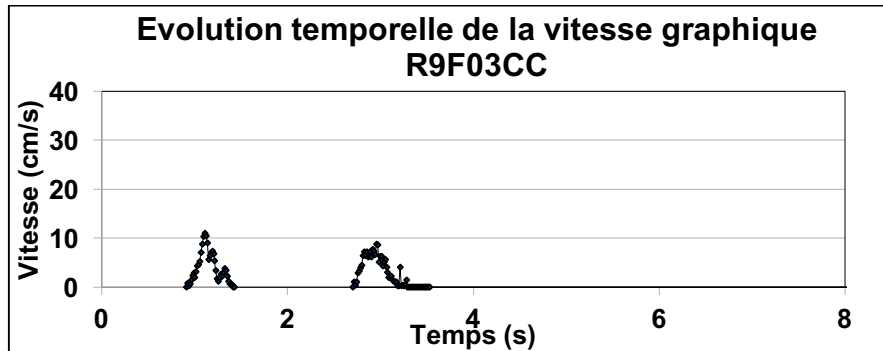


Figure 179: Profil temporel de fréquence de frappes du rythme 9 « Graphisme 1 pointe »

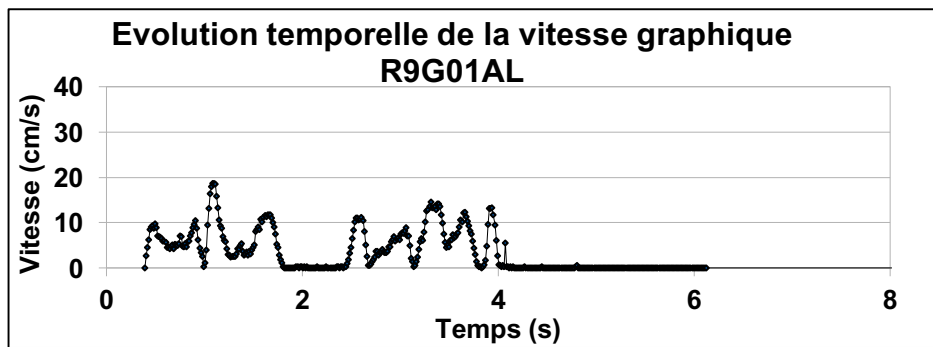
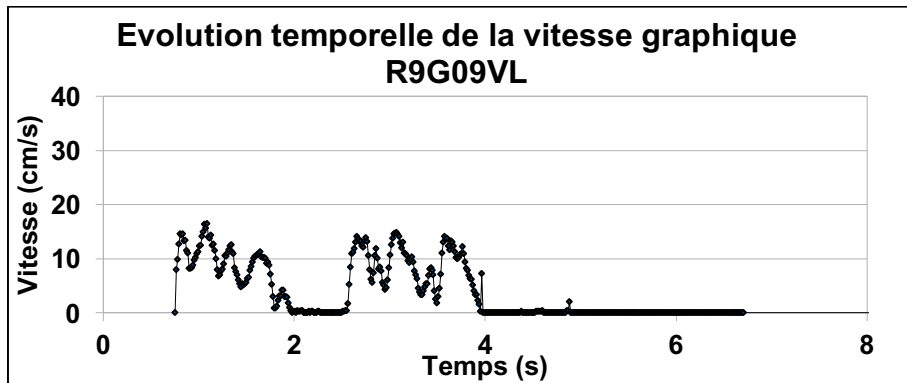
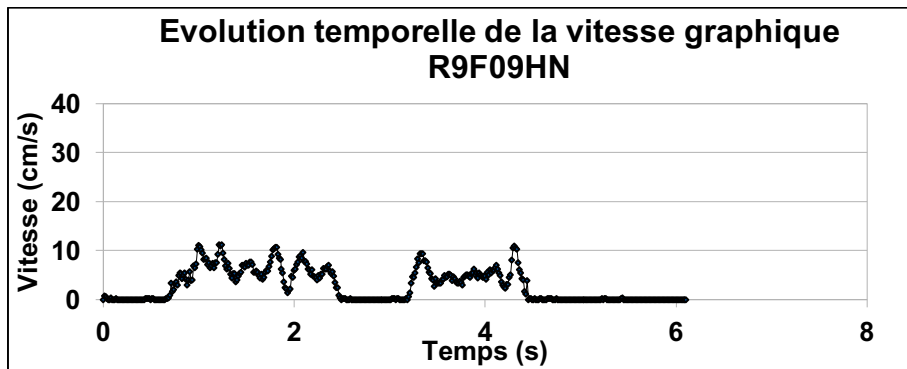
8.1.1.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 9 « Graphisme 1 pointe »

Sur les 33 productions enfantines produites à l'écoute de ce rythme, 26 sont analysables⁴. Elles présentent des traçages dont la vitesse évolue en deux parties, a et b.

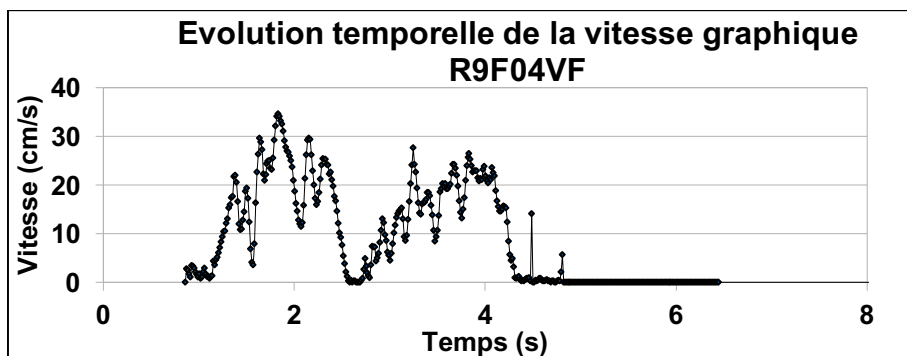
1/ Vitesses équivalentes : $a = b$ (6 productions)

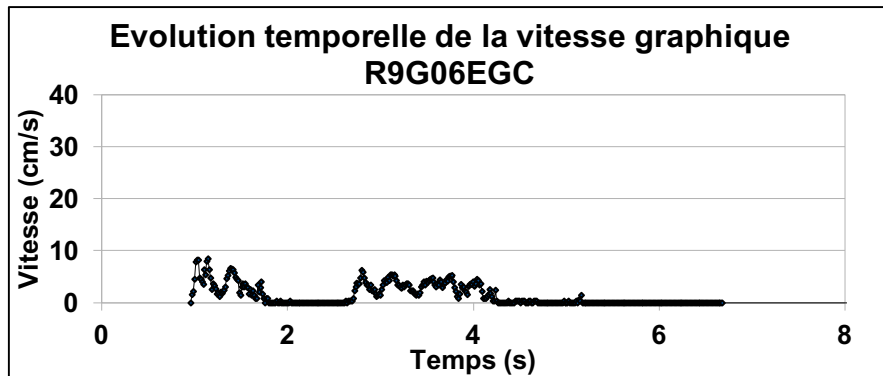
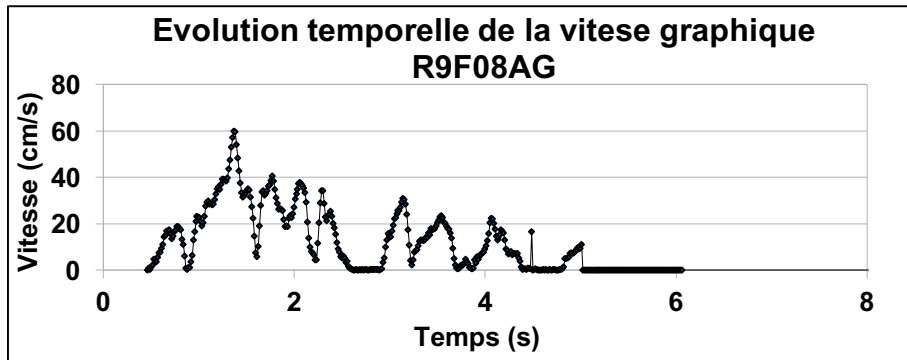
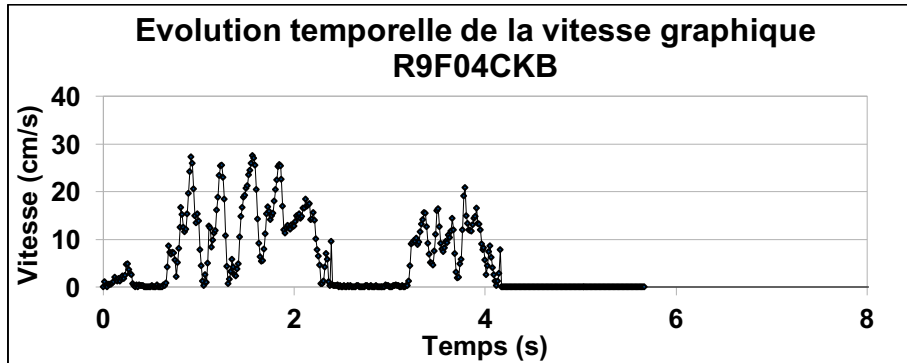
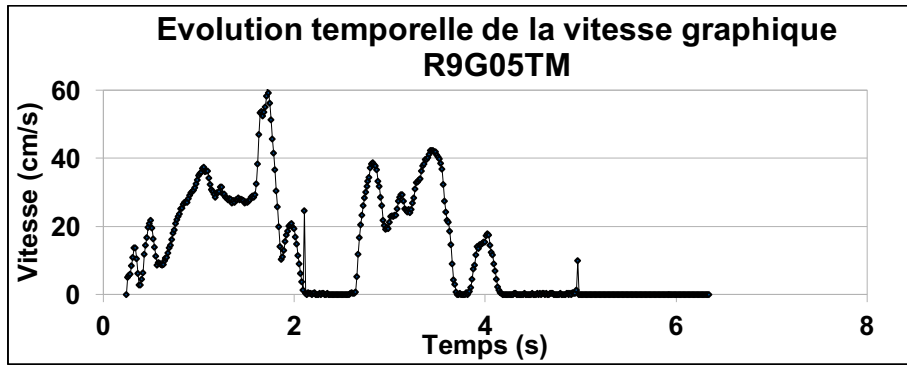


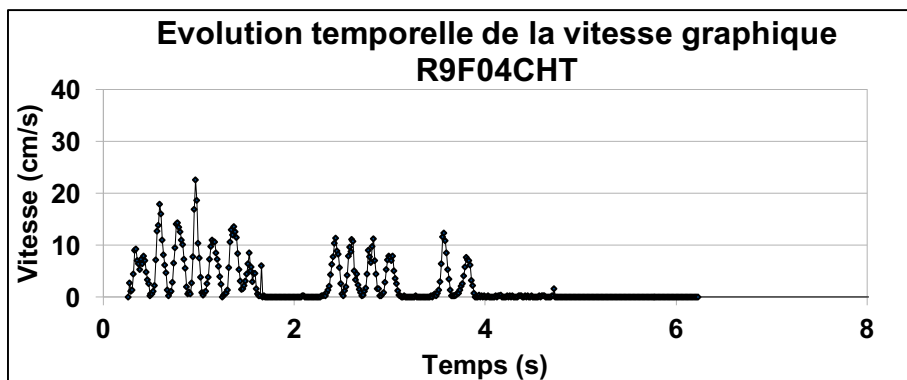
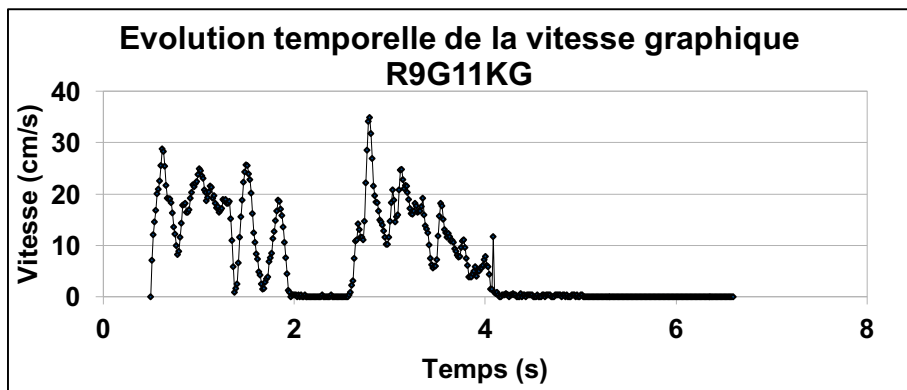
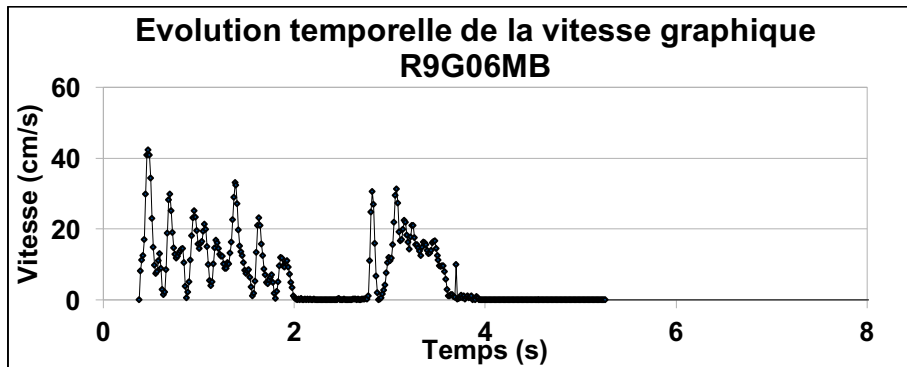
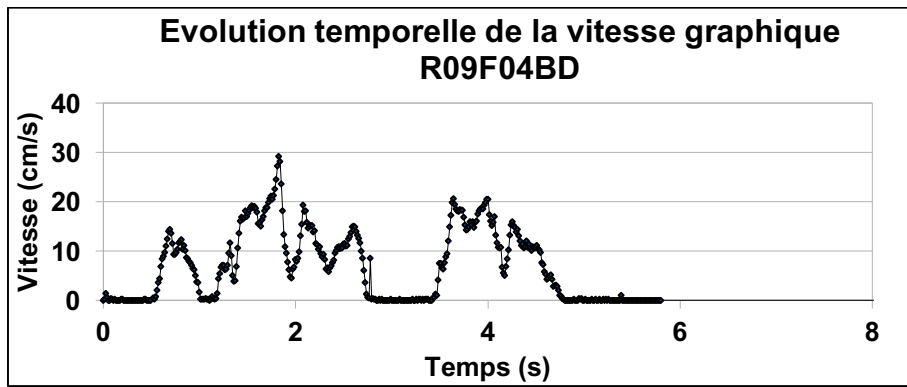
⁴ 6 productions posent un problème de calcul de vitesse. Une production n'est pas évaluable.



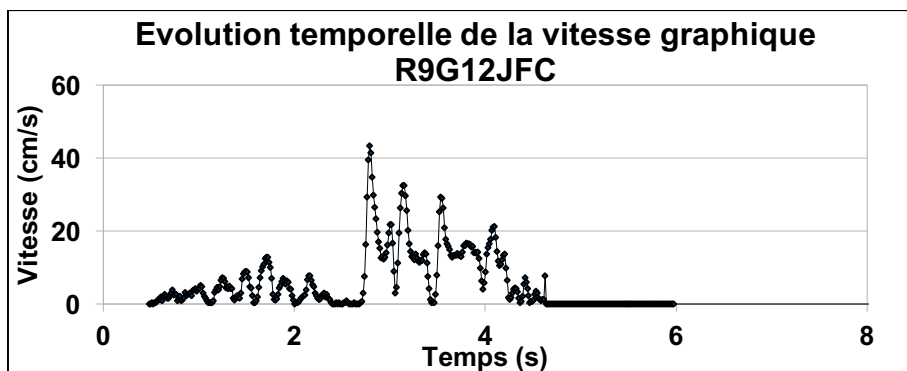
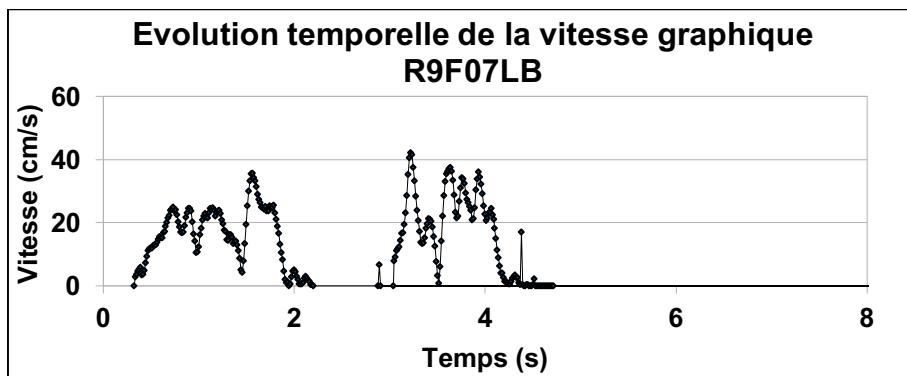
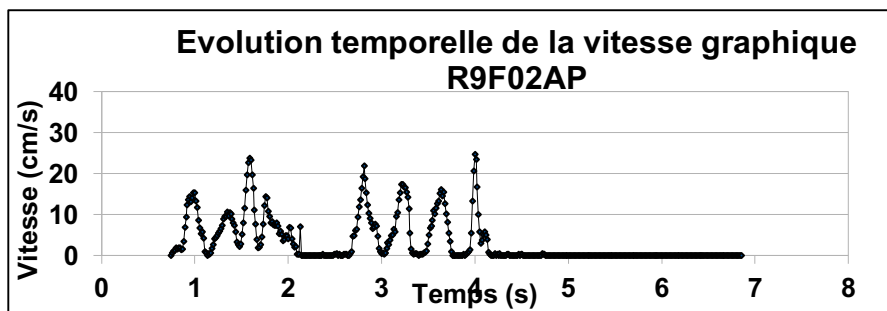
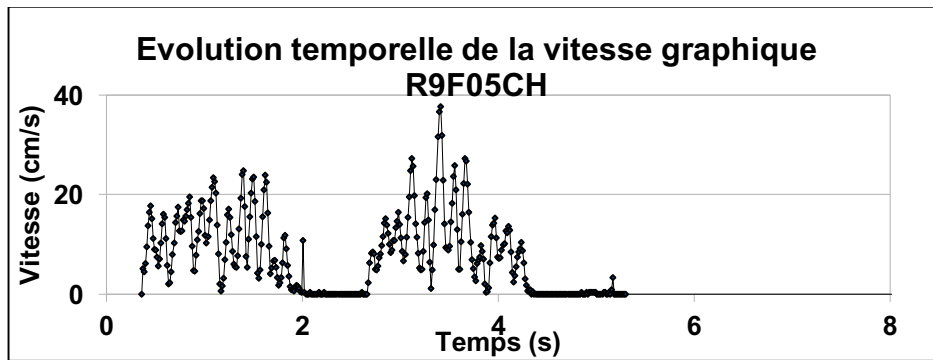
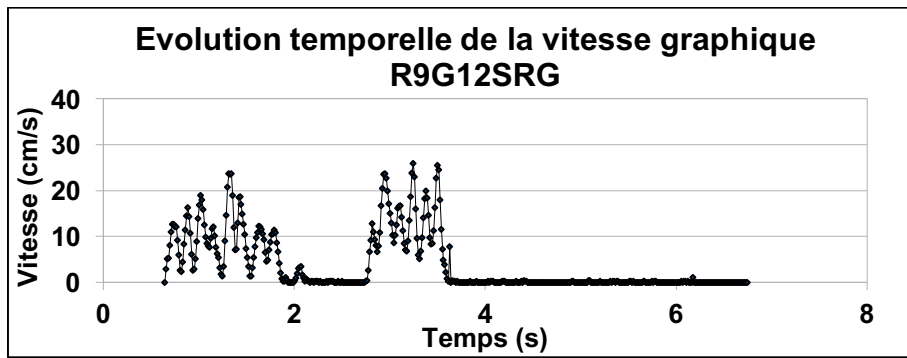
2/ Vitesse décroissante : $a > b$ (9 productions)

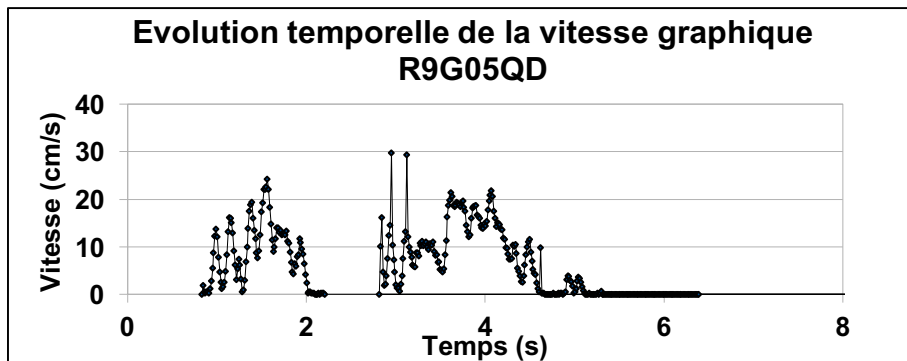
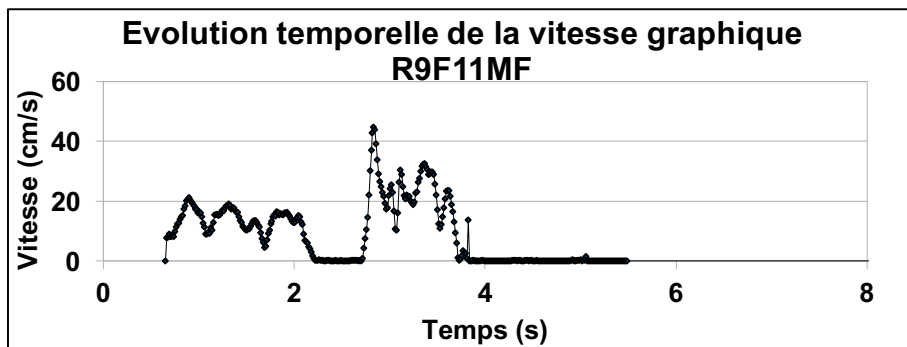
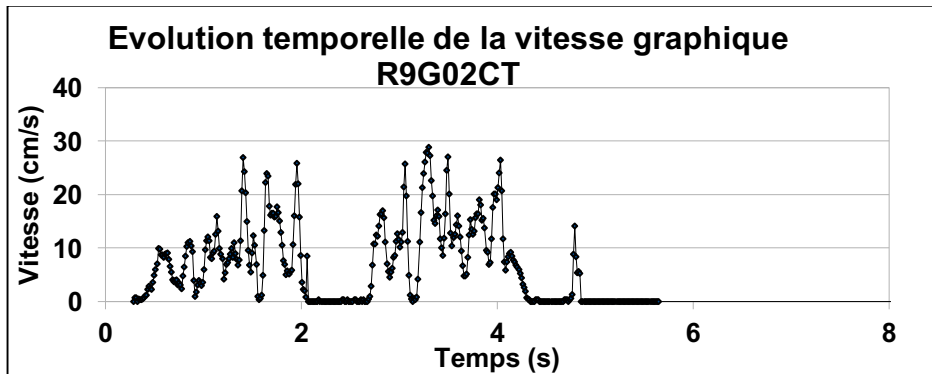
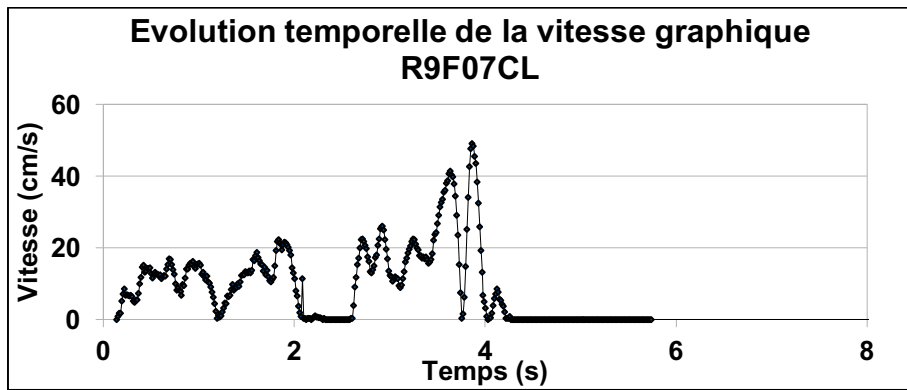




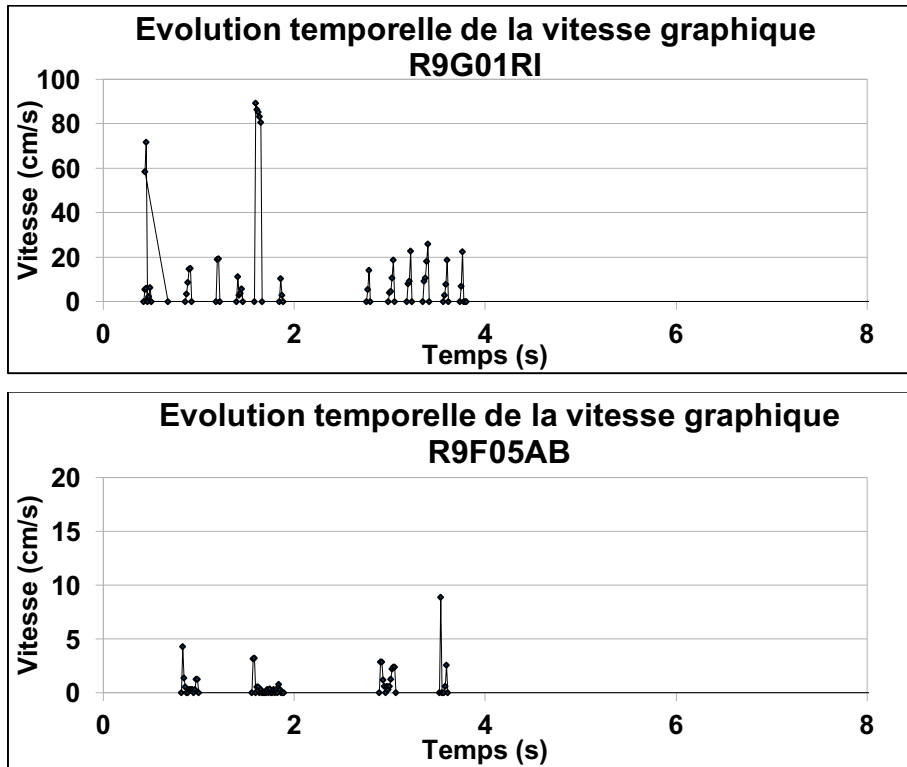


3/ Vitesse croissante : $a < b$ (9 productions)





- Traçage de deux groupes de points (2 productions) :



- **Conclusion**

Comparaison B-A

Les profils temporels de vitesse graphique initiale et ceux de l'intensité perçue et de la fréquence de frappes ont une allure assez similaire. Toutefois, les profils temporels des propriétés dynamo-agogiques évoluent suivant deux plateaux alors que celui de la vitesse graphique initiale forme deux cloches successives.

Comparaison C-B

De nombreux profils temporels de vitesse des graphismes résultants ont une allure comparable à celle des profils d'intensité et de fréquence de frappes du rythme.

Comparaison C-A

Dans l'ensemble, les profils des graphismes résultants ont une allure assez similaire à celle du graphisme originel, trois d'entre eux en particulier (R9F03CC, R9G11ML, R9F06LZ). On note que la valeur de la vitesse des productions enfantines est inférieure à celle du graphisme originel qui atteint rapidement 50 cm/s :

Vitesse (cm/s)	10-15	20-25	30-35	40
Nombre de productions	7	6	6	5

Tableau 87: Valeurs moyennes de la vitesse de traçage des graphismes résultant de l'écoute du rythme 9

Les profils temporels des vitesses du graphisme originel « pointe » et des graphismes résultants de l'écoute du rythme R9 « Graphisme 1 Pointe » ont une allure qui paraît suffisamment ressemblante pour valider en partie l'hypothèse de transduction d'informations de vitesse, avec le transfert de l'information de l'évolution temporelle de la courbe de vitesse. En revanche, l'information de valeur de vitesse n'est pas transférée du graphisme originel aux graphismes résultants. La fréquence de frappes du rythme 9, faible et régulière, ne permettrait pas de transmettre cette information.

8.1.2 Graphisme originel « boucle »

La trajectoire du graphisme tracé initialement est courbe, en forme de boucle :

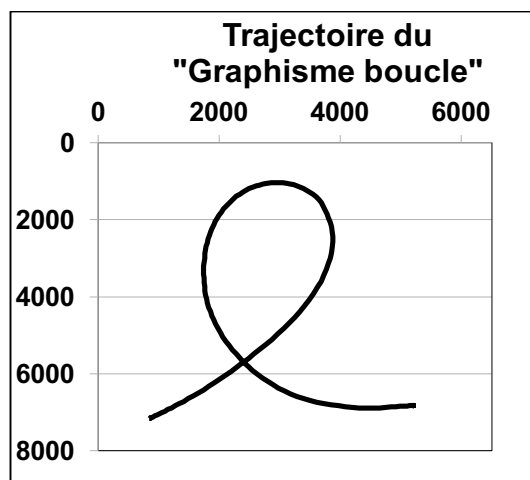


Figure 180: Trajectoire du graphisme originel « boucle »

8.1.2.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « boucle »

Le profil temporel de la vitesse de traçage de la boucle est le suivant :

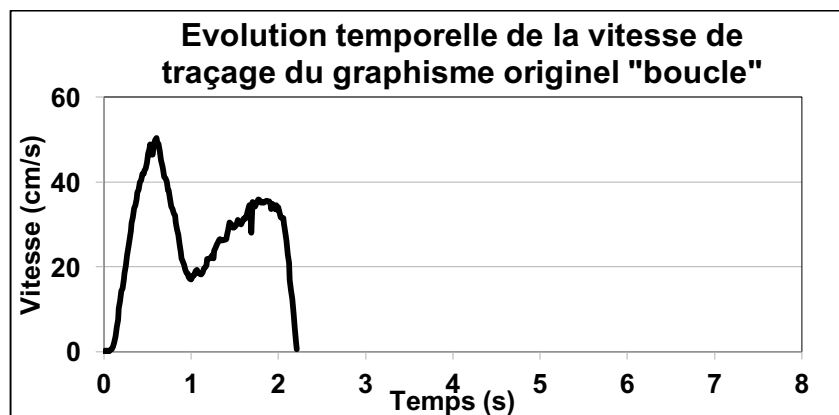
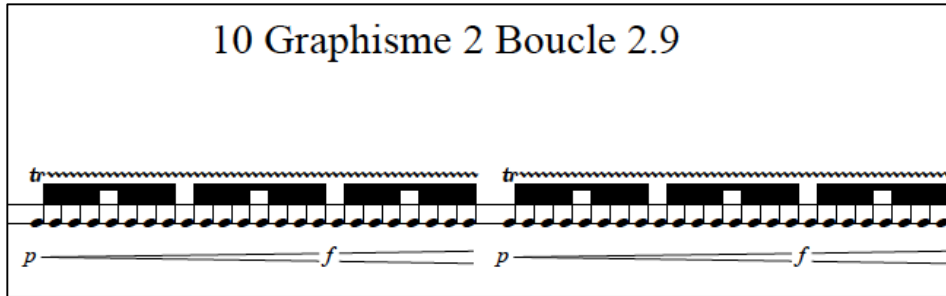


Figure 181: Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « boucle »

8.1.2.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »

A partir de l'observation du traçage de cette boucle, le percussionniste produit le rythme 10 « Graphisme 2 Boucle » :



Exemple musical 151: Rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »

dont le profil temporel d'intensité perçue et de l'instant des frappes est le suivant :

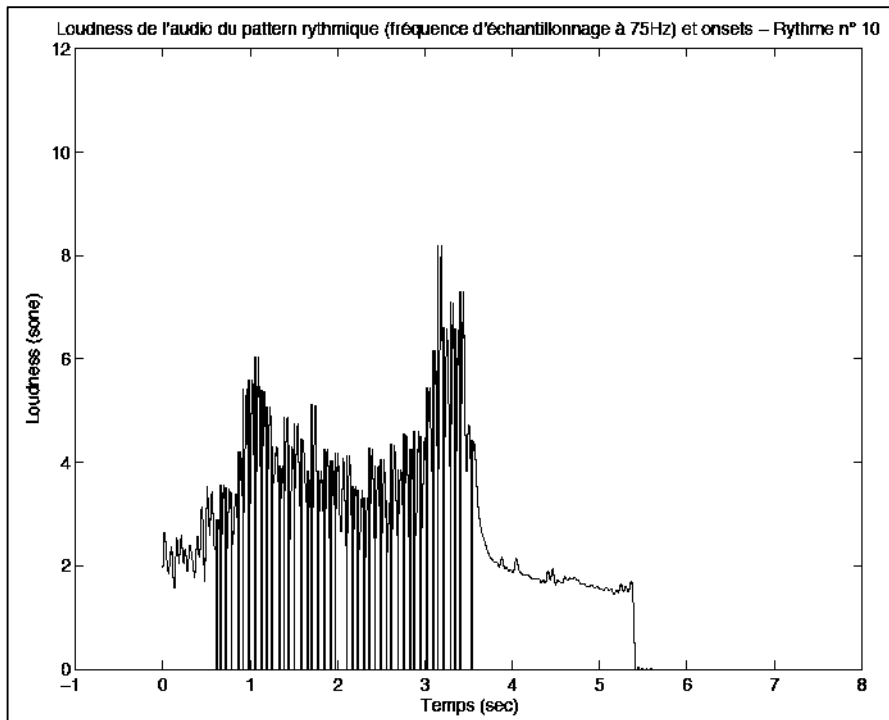


Figure 182: Profil temporel d'intensité du rythme 10 « Graphisme 2 boucle »

La fréquence de frappes évolue comme suit :

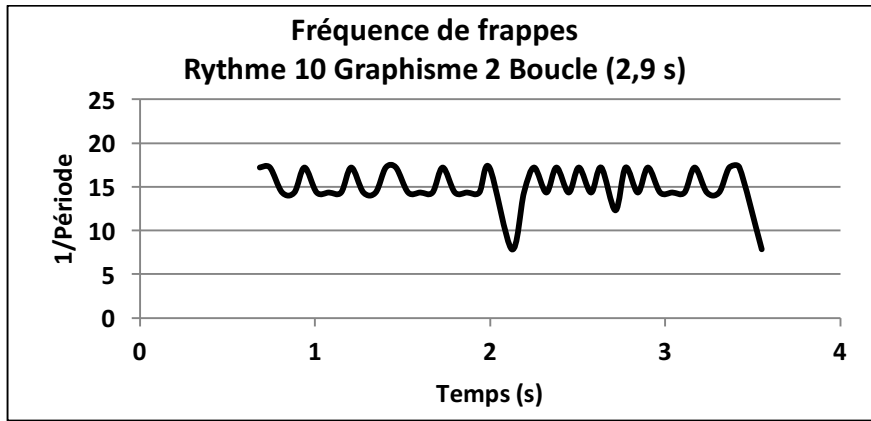


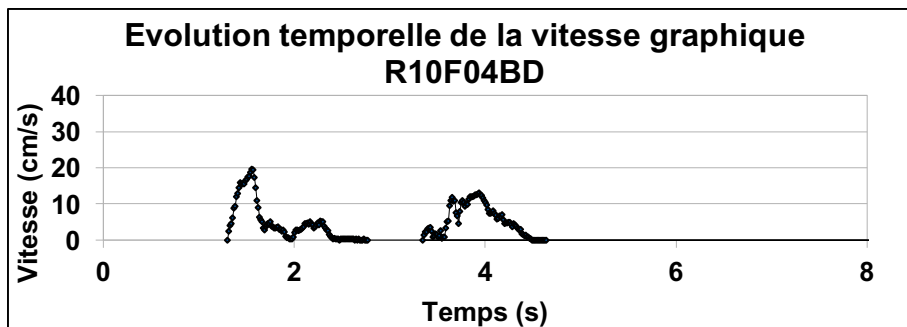
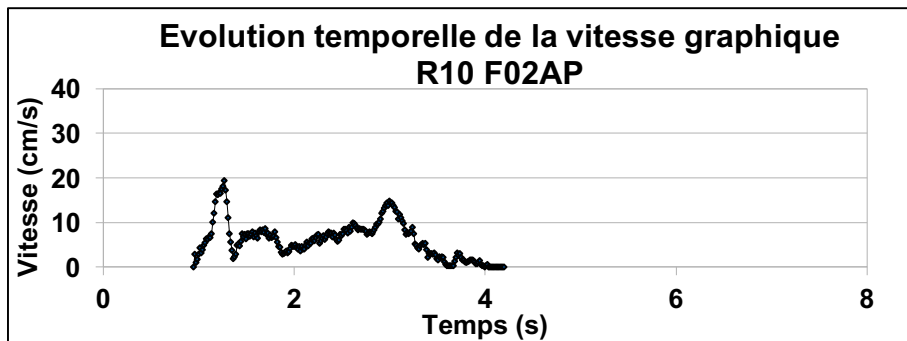
Figure 183: Profil temporel de la fréquence de frappes du rythme 10 « Graphisme 2 boucle »

8.1.2.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 10 « Graphisme 2 boucle »

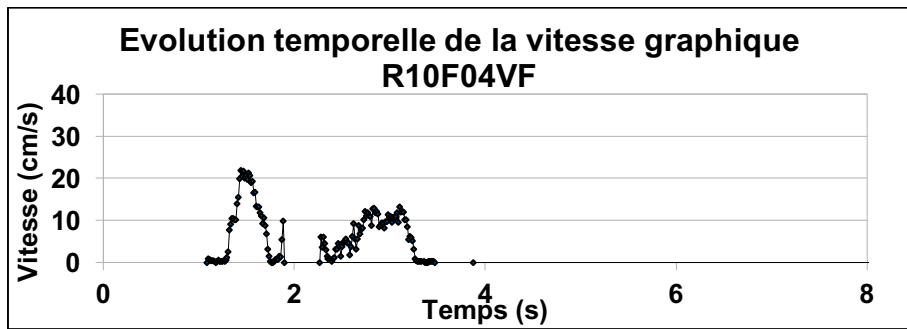
Sur les 33 productions enfantines produites à l'écoute de ce rythme, 23 productions graphiques sont analysables⁵. Deux principaux types de profils de vitesse se distinguent, selon qu'ils comportent une seule ou deux parties.

I Profils de vitesse en deux parties a et b (10 productions)

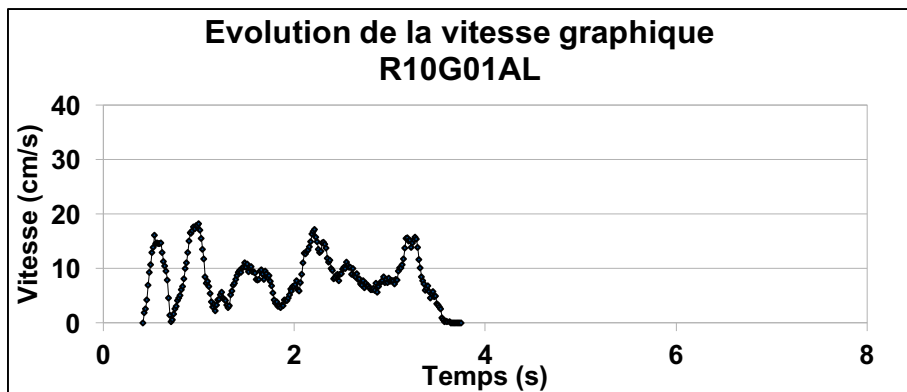
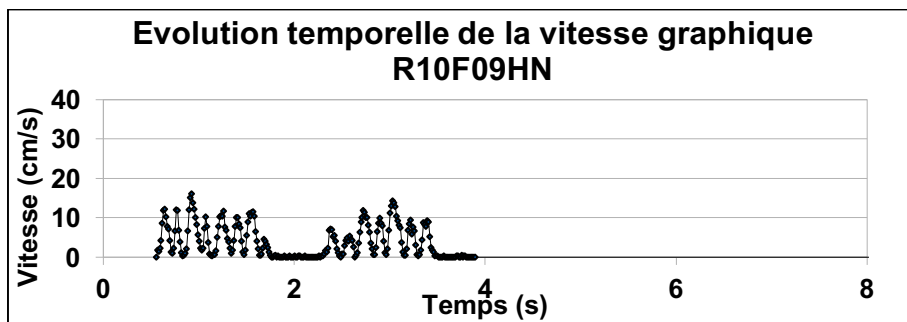
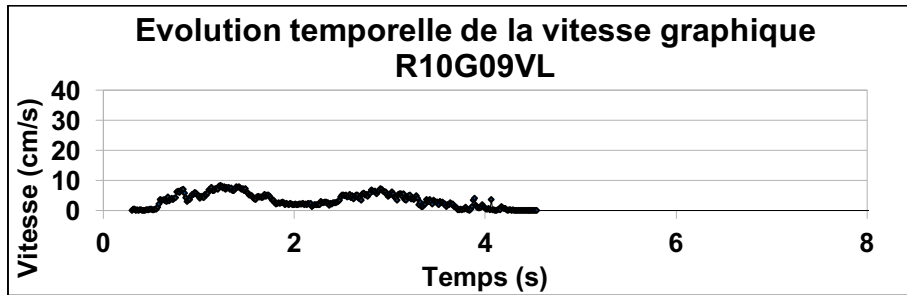
1/ Vitesse décroissante : $a > b$ (3 productions)



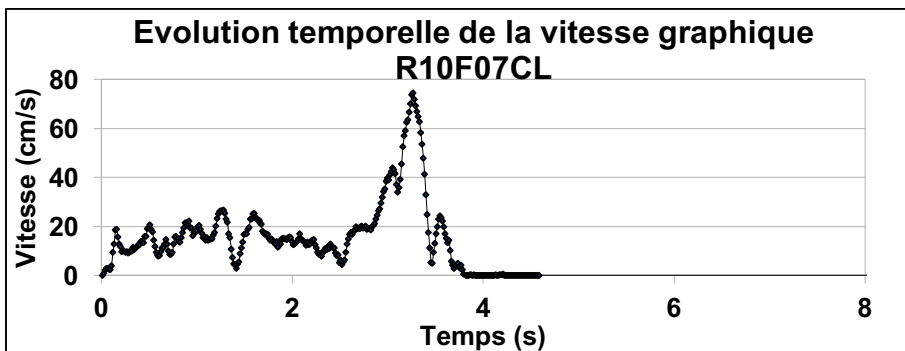
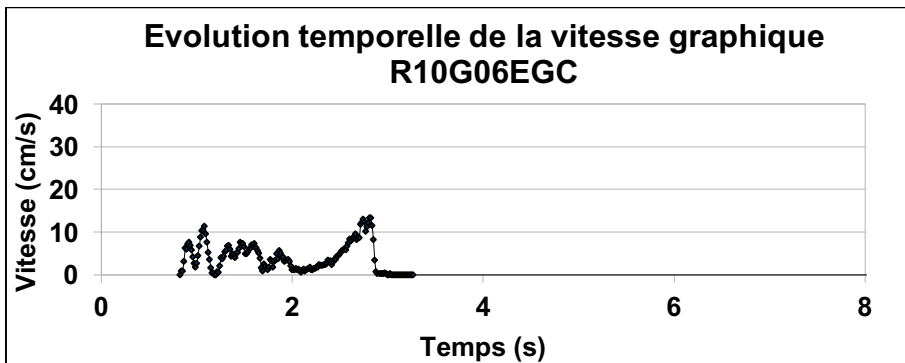
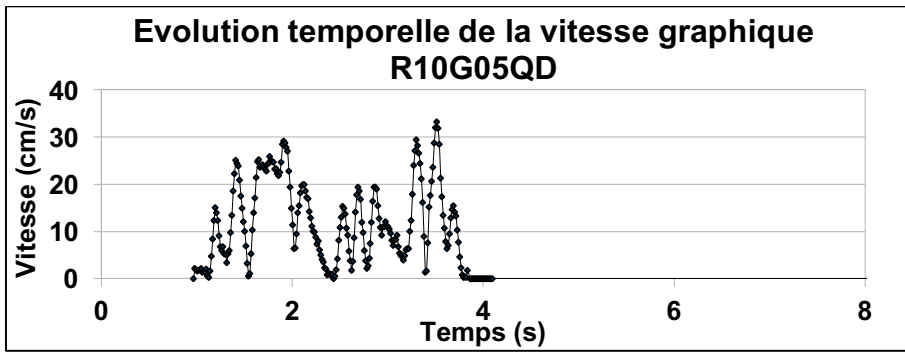
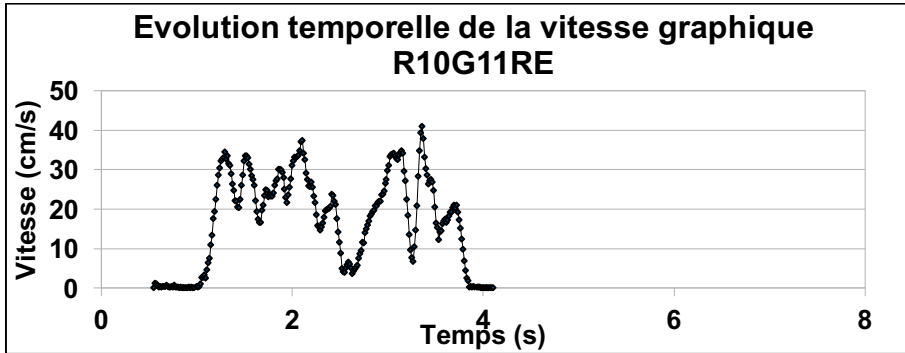
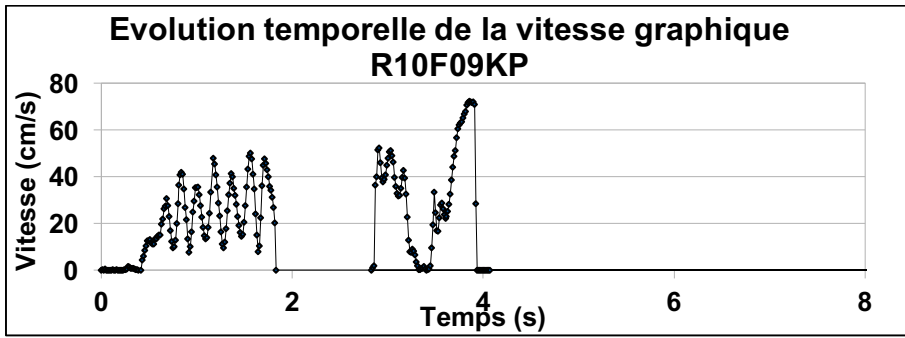
⁵ 10 productions posent un problème de calcul de vitesse lié à la célérité du traçage.



2/ Vitesse équivalente : $a = b$ (3 productions)

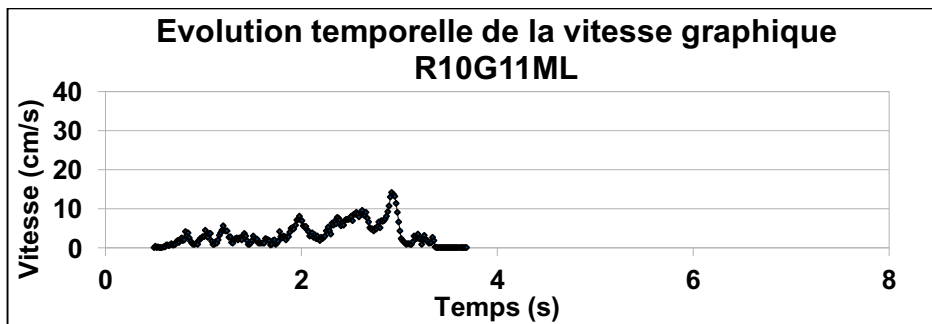
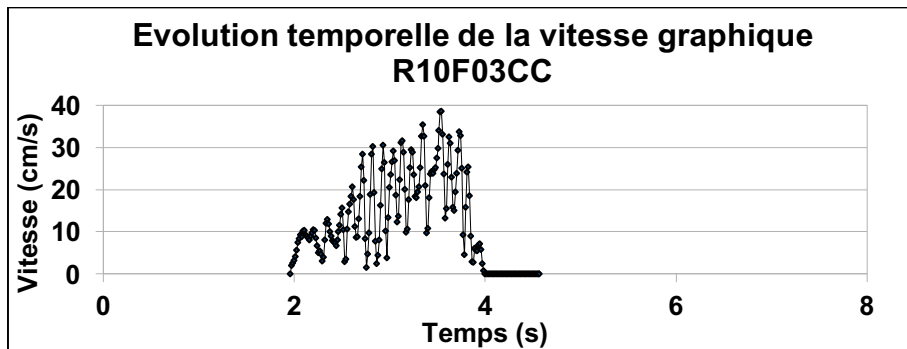
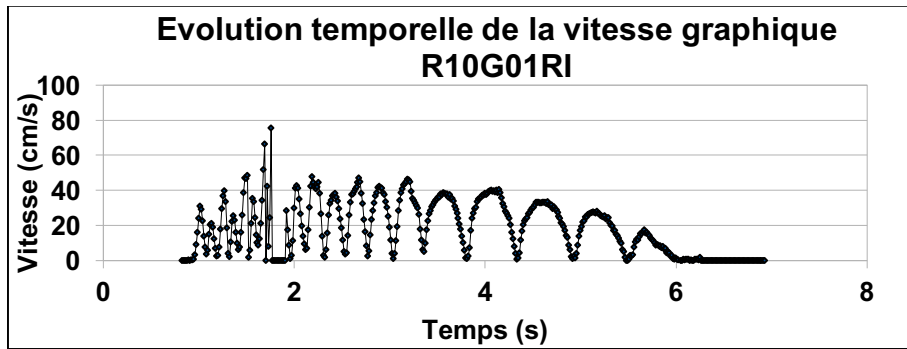


3/ Vitesse croissante : $a < b$ (5 productions)

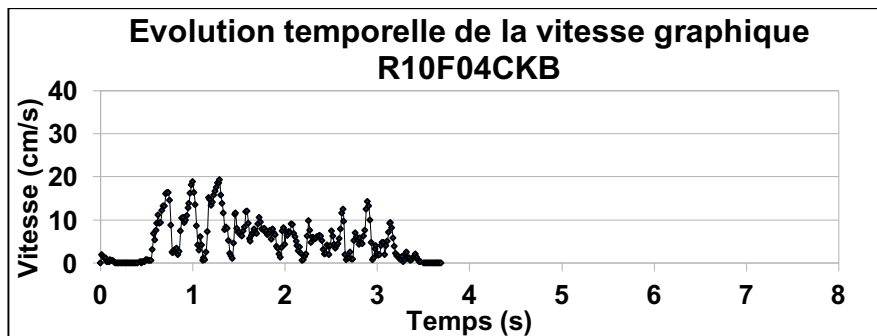


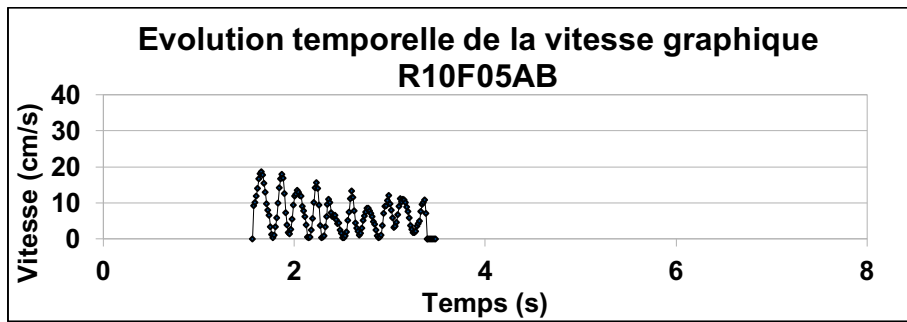
II Courbes en une seule partie

4/ Profil croissant-décroissant (3 productions)

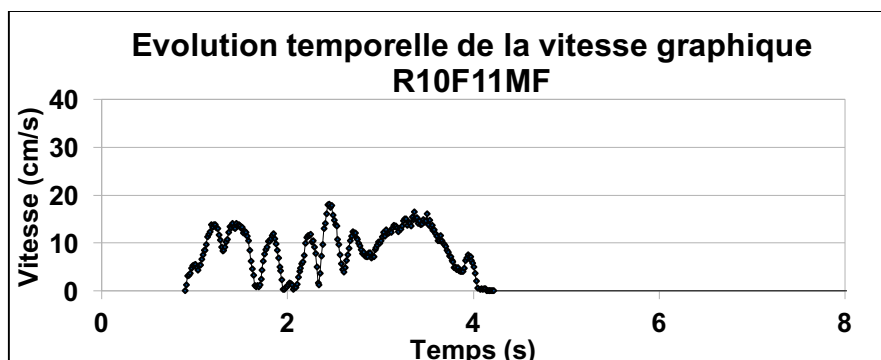
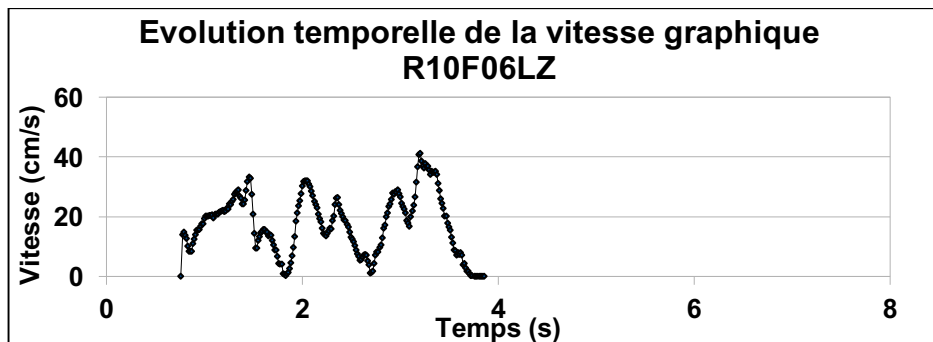
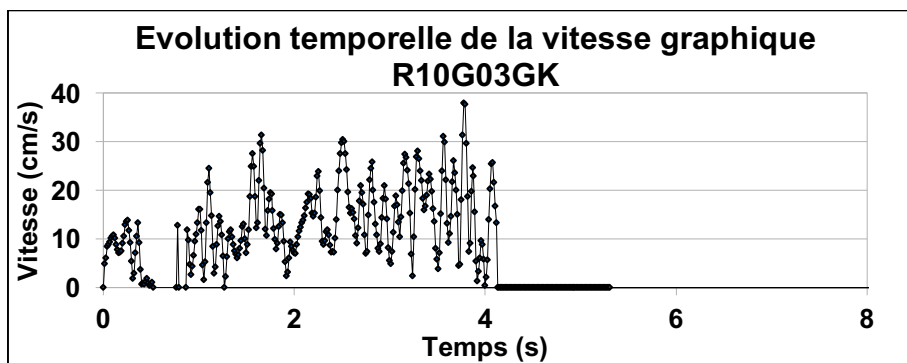
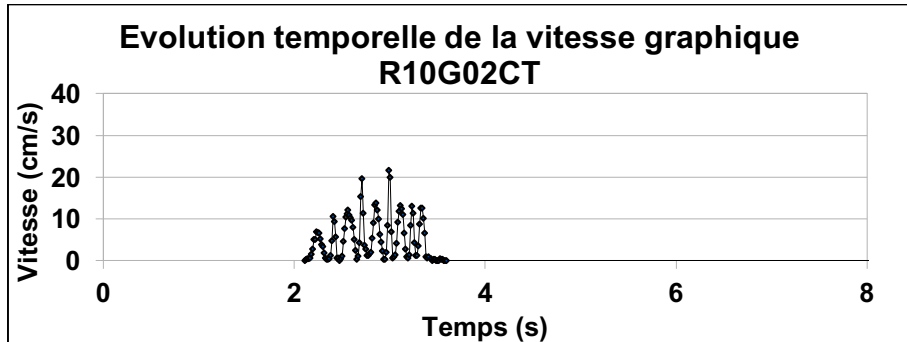


5/ Profil décroissant (2 productions)

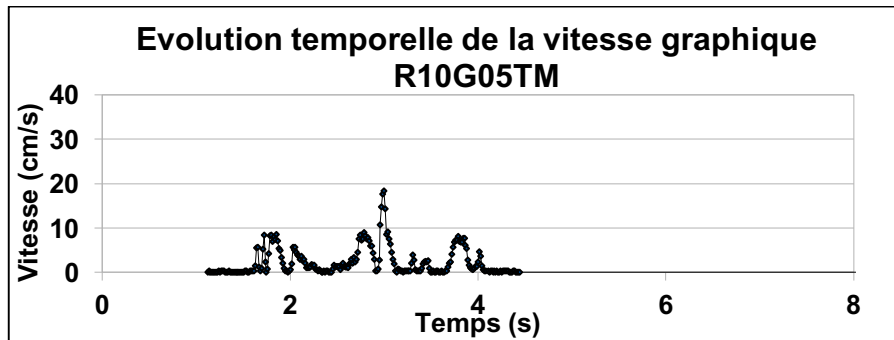
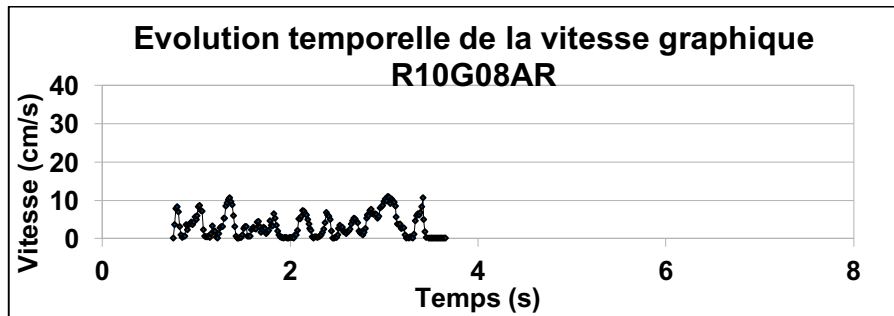
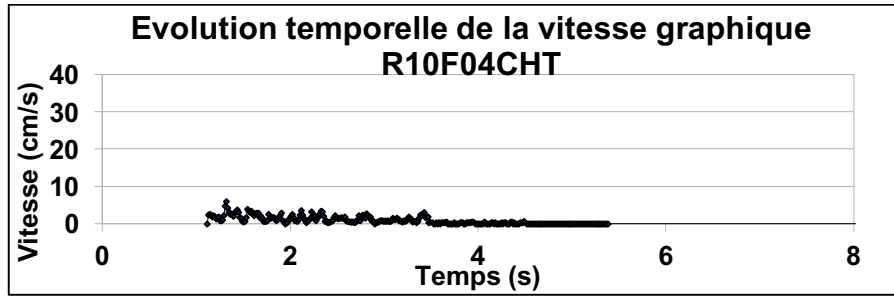




6/ Profil croissant (4 productions)



7/ Autre (oscillations) (3 productions)



- **Conclusion**

Les allures des profils temporels des productions résultantes sont beaucoup plus variées. On en distinguera deux types principaux :

Types de profil temporel	Composé de 2 parties a et b 11 productions			1 partie 12 productions			
	Type 1/ a>b	2/ a=b	3/ a<b	4/ croissante- décroissante	5/ décroissante	6/ croissante	7/ oscillation
Nombre de productions	3	3	5	3	2	4	3
Vitesse A B (cm/s) (nb de production)	20-10 (3)	10 (2)) 20 (1)	20-80 (1) 40-70 (1) 30-40 (2) 10-15 (1)	80 (1) 40 (1) 10 (1)	Max 20 (2)	max 20(2) max 40(2)	10-20(3)

Tableau 88: Types de profil temporel et valeur de vitesse de traçage produits sur le rythme 10

Comparaison B-A

L'allure générale des profils temporels du graphisme originel boucle et du rythme est relativement similaire : elle est caractérisée par un creux au centre de la courbe. La vitesse du graphisme originel évolue en deux parties dont le premier pic est supérieur au second (50 cm/s puis 35 cm/s). Les courbes d'intensité et de fréquence de frappes évoluent également en deux parties mais l'allure de la courbe d'intensité présente un premier pic inférieur au second (6 puis 8 sone). La fréquence de frappes élevée évolue en deux plateaux.

Comparaison C-B

Cinq productions ont un profil de vitesse proche de celui de l'intensité (type 3/) et trois productions ont un profil de vitesse proche de celui de la fréquence de frappes (type 2/). Globalement, la valeur de la vitesse des graphismes est assez faible, conformément à l'intensité du rythme.

Comparaison C-A

On observe que la moitié des productions graphiques (11/23) présente un profil de vitesse dont l'allure est similaire à l'allure en M du profil de vitesse du graphisme originel, dont trois productions en particulier (R10F02AP, R10F04BD, R10F04VF). On constate un transfert d'informations de données sur l'évolution de la vitesse graphique mais peu de transfert d'informations sur la valeur de cette vitesse.

8.1.3 Graphisme originel « arche »

Le graphisme tracé initialement est en forme d'arche :

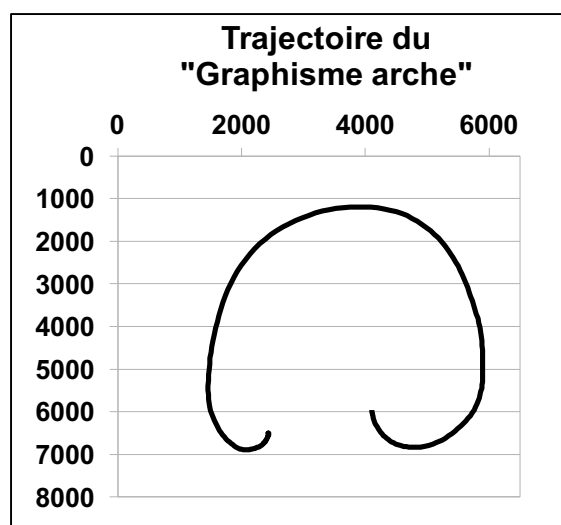


Figure 184: Trajectoire du graphisme originel « arche »

8.1.3.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « arche »

Le profil temporel de la vitesse de traçage de l'arche est le suivant :

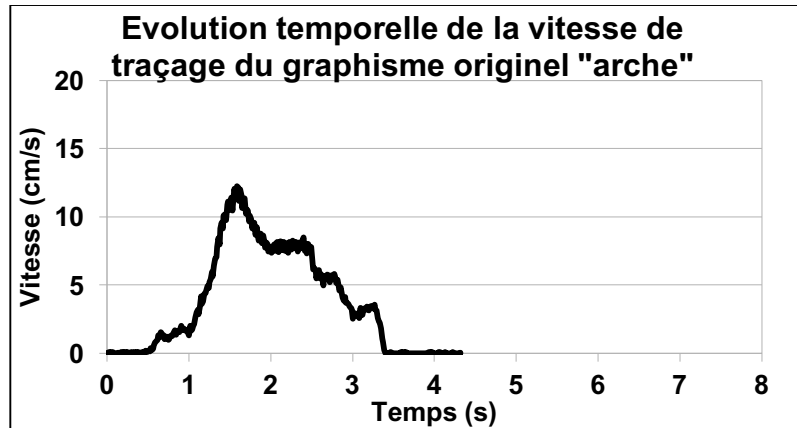
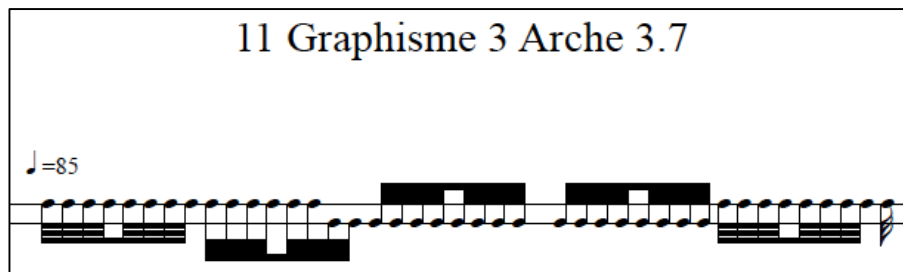


Figure 185: Profil temporel de vitesse de traçage du graphisme originel « arche »

8.1.3.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

A partir de l'observation du traçage de cette arche, le percussionniste produit le rythme 11 « Graphisme 3 Arche » :



Exemple musical 152: Rythme 11 « Graphisme 3 Arche »

dont le profil temporel d'intensité perçue et de l'instant des frappes est le suivant :

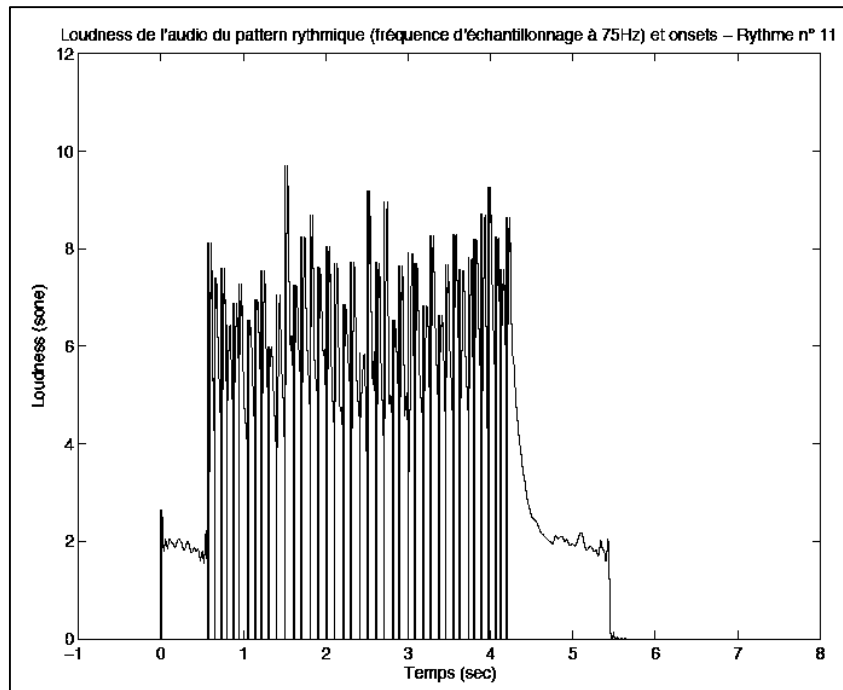


Figure 186: Profil temporel d'intensité du rythme 11 « Graphisme 3 arche »

La fréquence de frappes évolue comme suit :

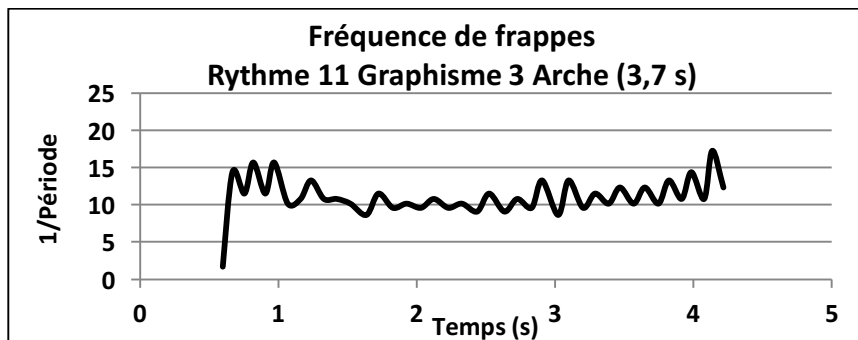


Figure 187: Profil temporel de la fréquence de frappes du rythme 11 « Graphisme arche »

8.1.3.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 11 « Graphisme 3 arche »

La production graphique de l'enfant Gaspard, recueillie lors d'un prétest, est doublement remarquable car d'une part, le profil de vitesse graphique est très approchant de celui de la fréquence de frappes du rythme, d'autre part, la forme graphique résultante est très ressemblante à celle du graphisme original :

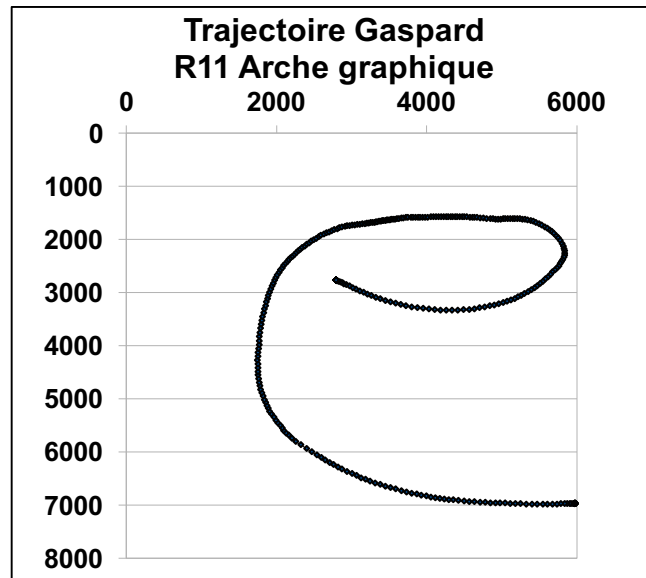


Figure 188: Trajectoire du graphisme sur le rythme 11 arche graphique de l'enfant Gaspard

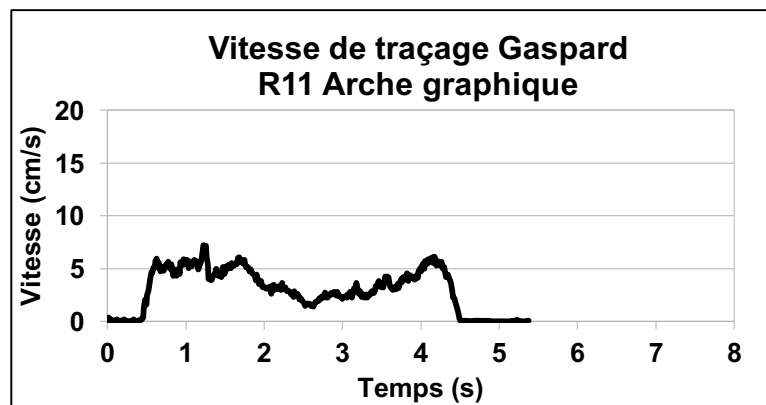
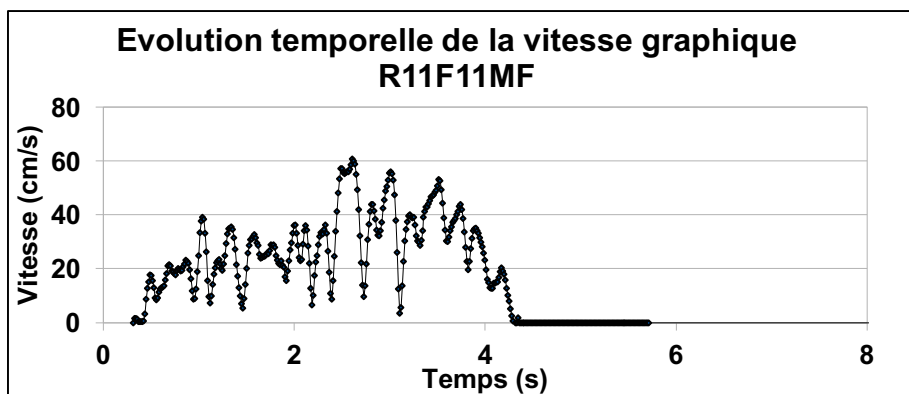
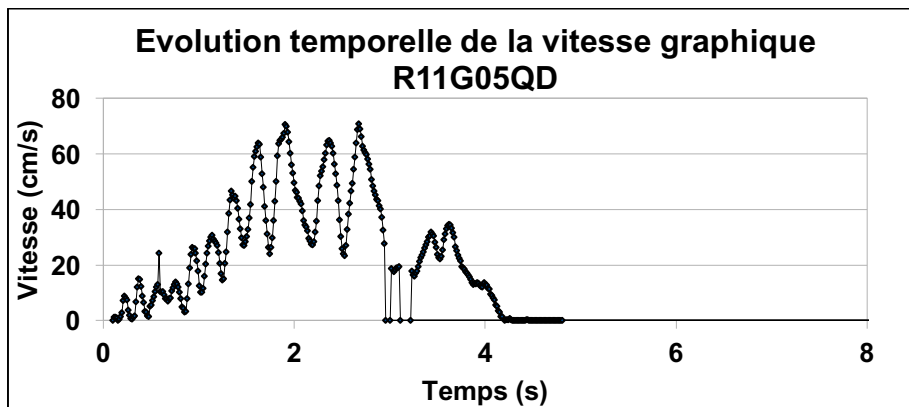
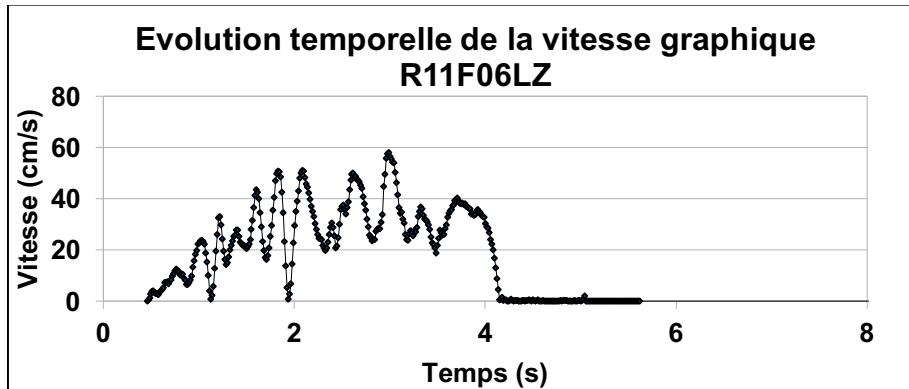
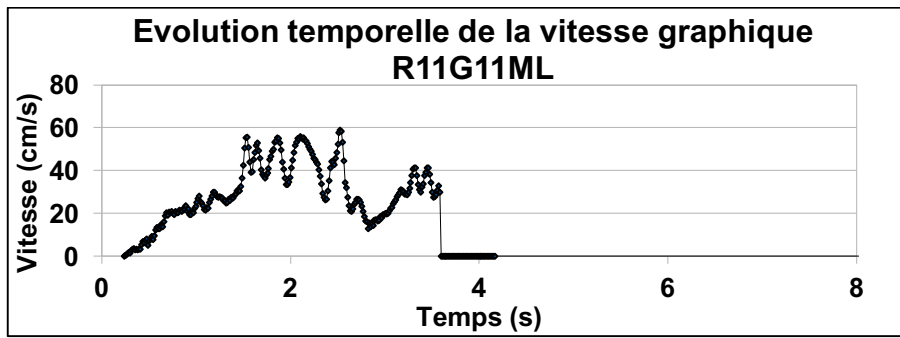


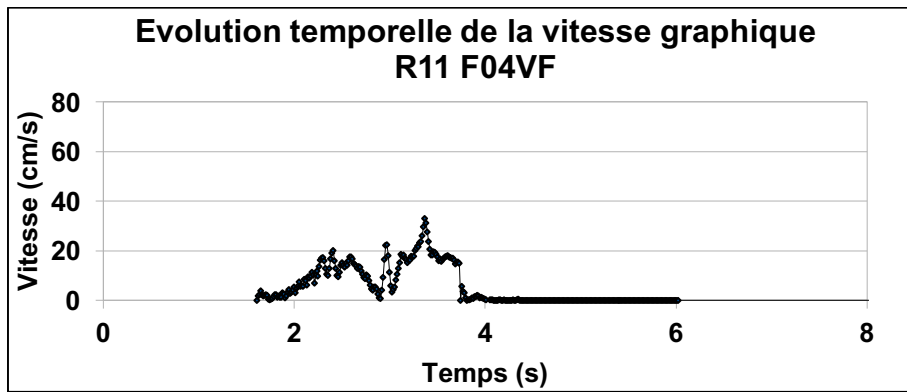
Figure 189: Profil temporel de la vitesse de traçage sur le rythme 11 du sujet Gaspard

Sur les 33 productions enfantines produites à l'écoute de ce rythme, 19 sont analysables⁶. On distingue principalement deux types d'allure de profils de vitesse : croissant-plateau-décroissant et en plateau.

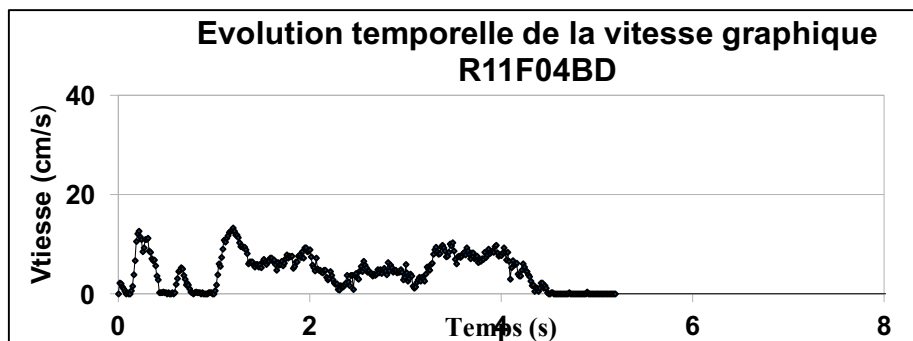
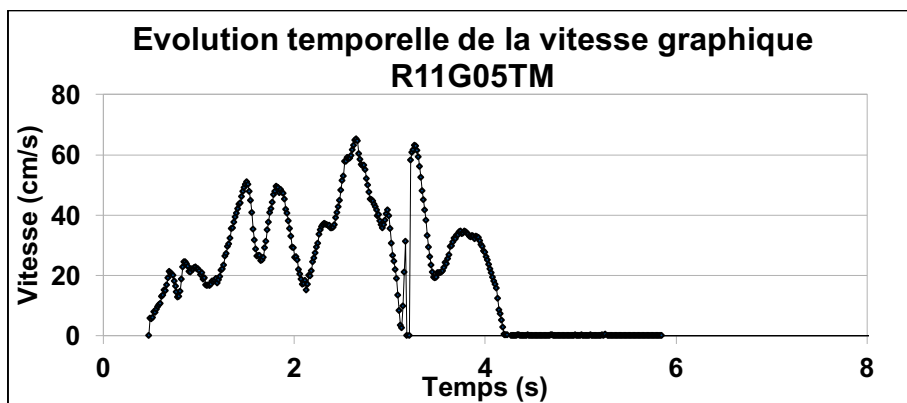
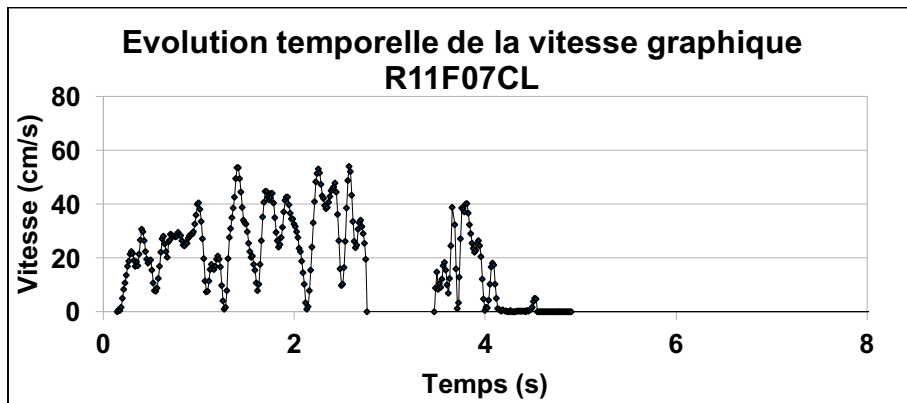
1/ Profil croissant-plateau-décroissant

⁶ 11 productions posent un problème de calcul de vitesse lié à la célérité des traçages et 3 productions ne sont pas évaluables.

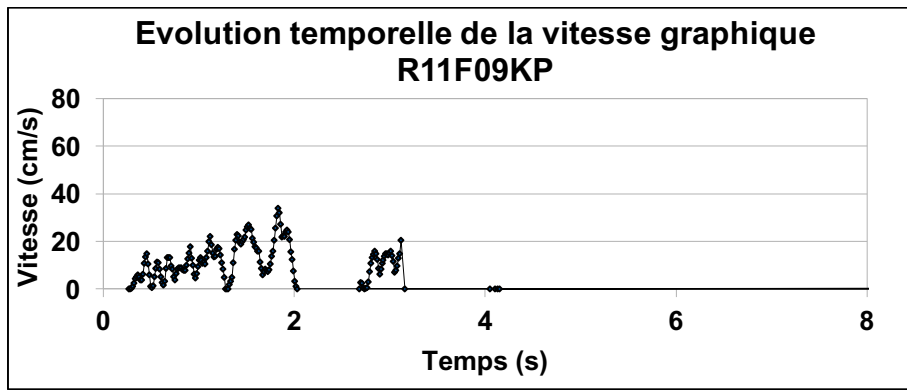




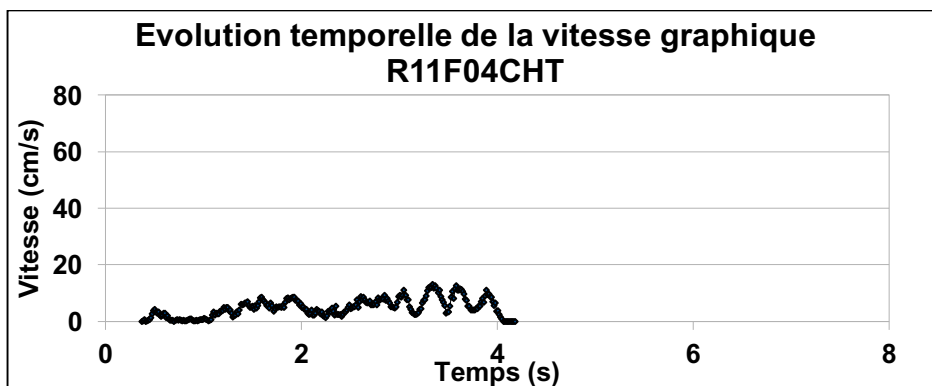
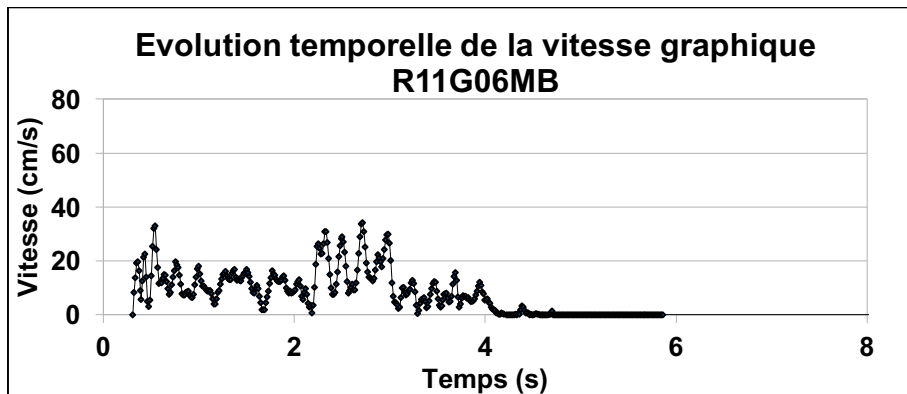
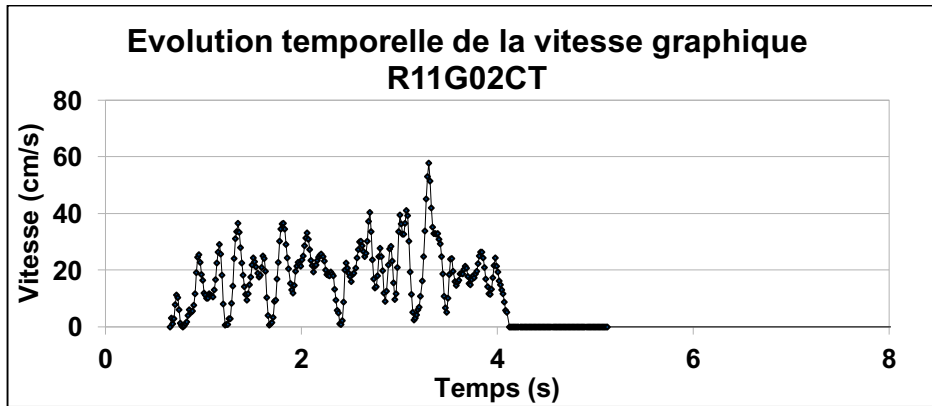
Arrêt lié au bord de la page puis reprise :

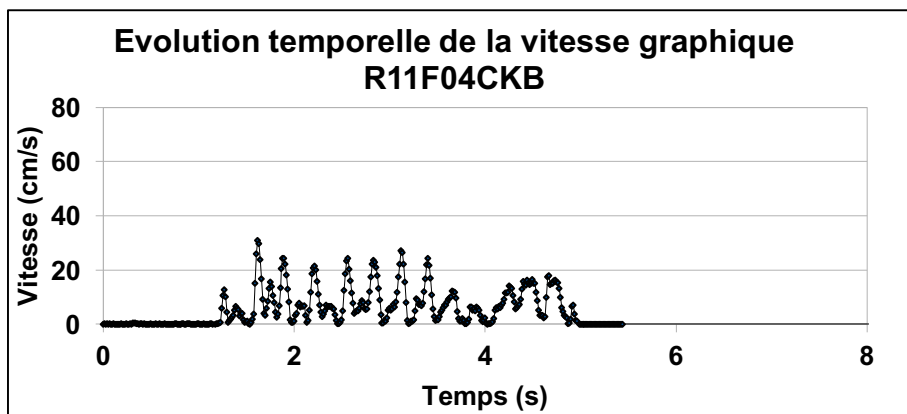
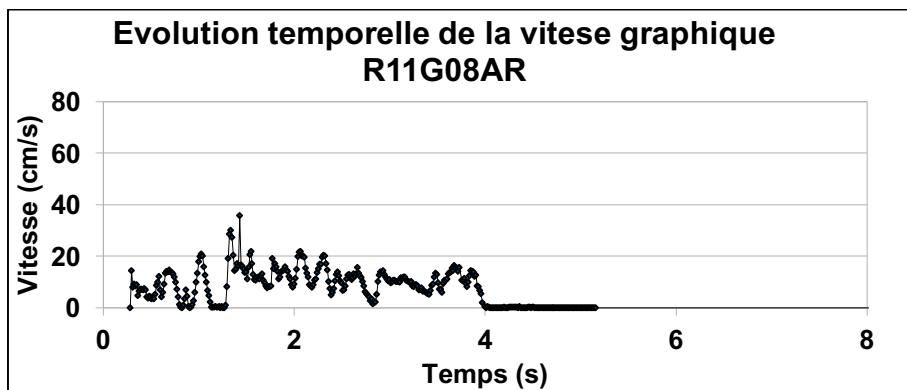
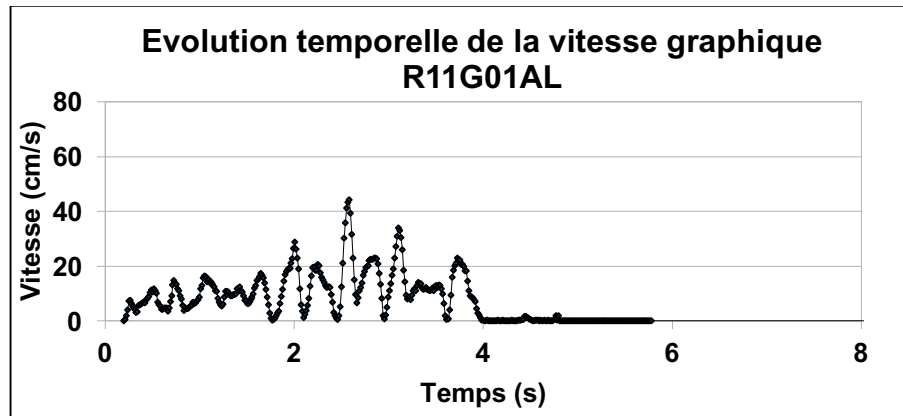
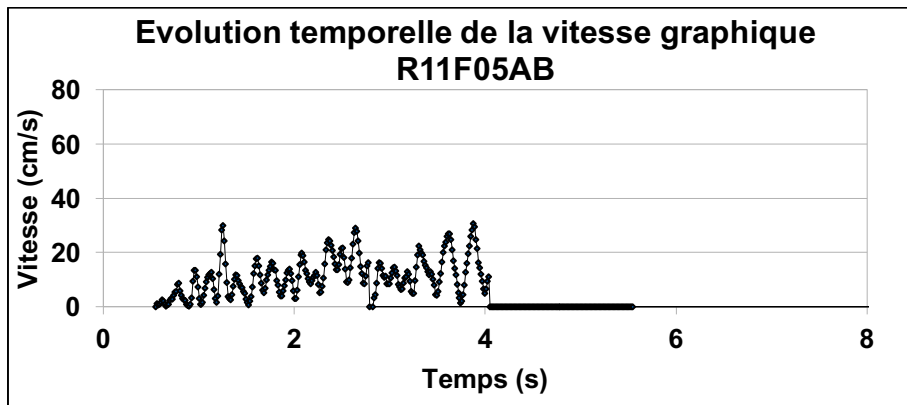


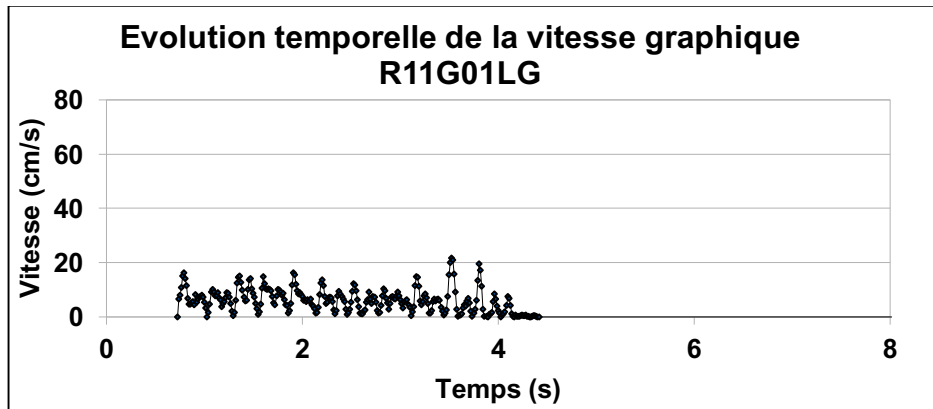
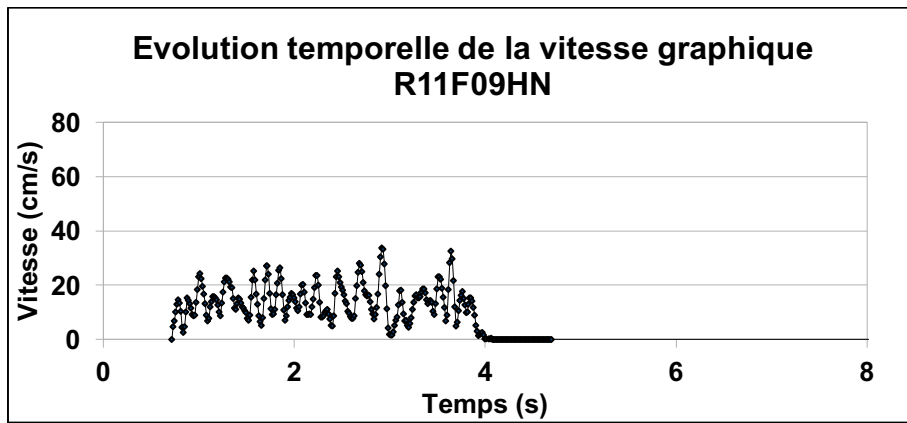
Arrêts liés au tracé de trois formes différentes :



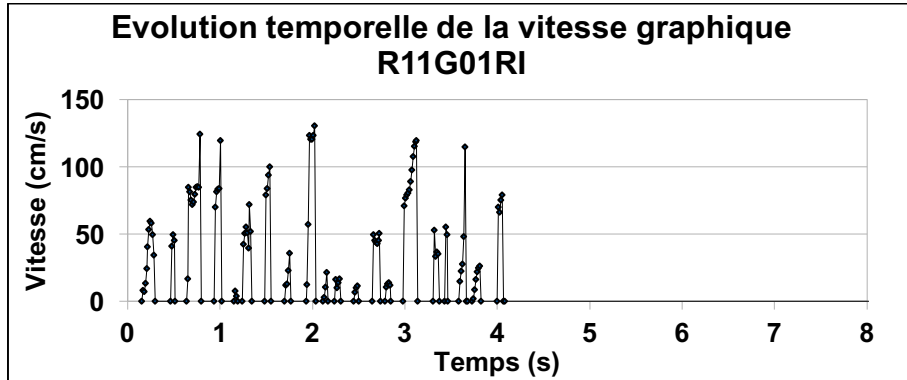
3/ En plateau :







- Traits (vitesse très élevée)



- **Conclusion**

Types de profil	1/Croissant-plateau-décroissant		2/ Plateau	3/ Traits
Vitesse (cm/s)	Plateau à 60	Plateau < 40	Jusque 20	150
Nombre de productions	5	4	9	1
Total	9		9	1

Tableau 89: Types de profils et valeur de vitesse de traçage sur le rythme 11

Comparaison B-A

L'allure du profil temporel d'intensité est assez peu ressemblante avec celle de la vitesse graphique originelle. En revanche, la valeur de l'intensité est faible, en lien avec la valeur de vitesse du graphisme originel (15 cm/s). Le profil de la fréquence de frappes suit de plus près celui du graphisme originel, avec une accélération initiale du graphisme, la décélération centrale puis la légère accélération finale. La fréquence de frappes est élevée en début et fin d'item alors que la vitesse du traçage est globalement faible.

Comparaison C-B

Huit productions graphiques ont un profil temporel de vitesse d'allure proche de celle du profil d'intensité du rythme, en plateau. La vitesse des graphismes résultants est élevée dans cinq productions, en lien avec la fréquence de frappes. La variation de fréquence de frappes n'est représentée que dans deux profils de vitesse graphique (R11G11ML, R11F04BD), l'amplitude étant sans doute trop faible pour être perçue ou représentée par une décélération graphique en cours d'item.

Comparaison C-A

Du fait du peu de ressemblance entre profil d'intensité et de frappes du rythme 10 et profil de vitesse du graphisme originel, les profils de vitesse des productions enfantines sont d'allure assez éloignée de celle du profil de vitesse du graphique originel, excepté trois productions (R11G11ML, R11F06LZ, R11G05QD). Neuf productions évoluent dans des vitesses relativement faibles, proches de 20 cm/s, en rapport avec la faible valeur de vitesse du traçage initial. La valeur de la vitesse a donc pu être transférée du graphisme originel aux graphismes résultants via le rythme 10.

8.1.4 Graphisme originel « alpha »

Le graphisme alpha tracé initialement a la forme du signe de l'infini :

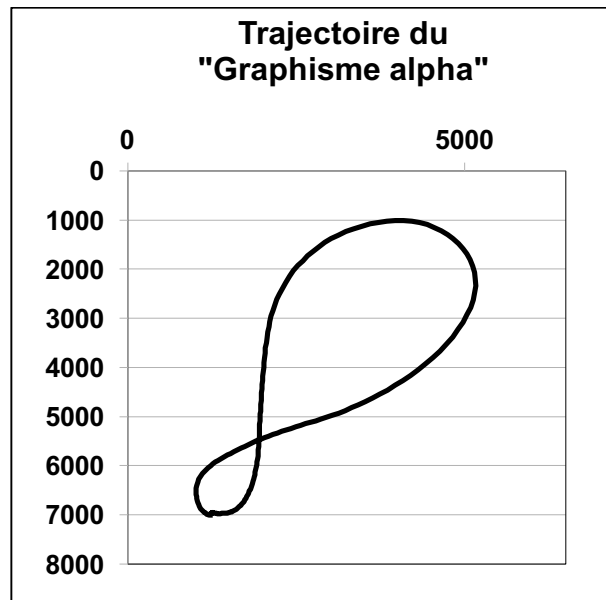


Figure 190: Trajectoire du graphisme originel «alpha»

8.1.4.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « alpha »

Le profil temporel de la vitesse de traçage de l'alpha est le suivant :

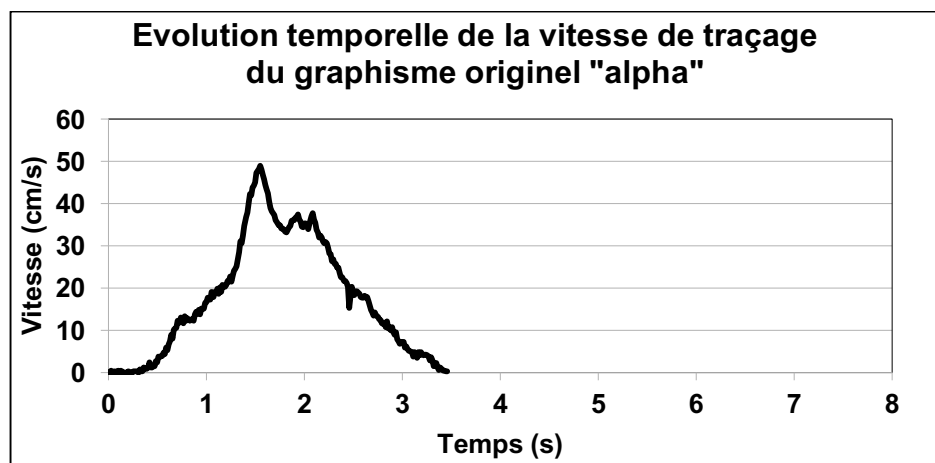
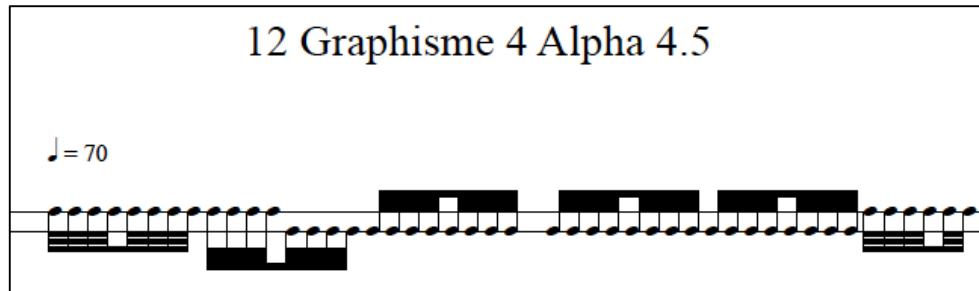


Figure 191: Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « alpha »

Son allure est très proche du graphisme précédent en forme d'arche, mais plus régulier et symétrique. La valeur de la vitesse est beaucoup plus élevée, avec un pic à 50 cm/s.

8.1.4.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »

A partir de l'observation du traçage de ce graphisme, le percussionniste produit le rythme 12 « Graphisme 4 Alpha » :



Exemple musical 153: Rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »

dont le profil temporel d'intensité perçue et de l'instant des frappes est le suivant :

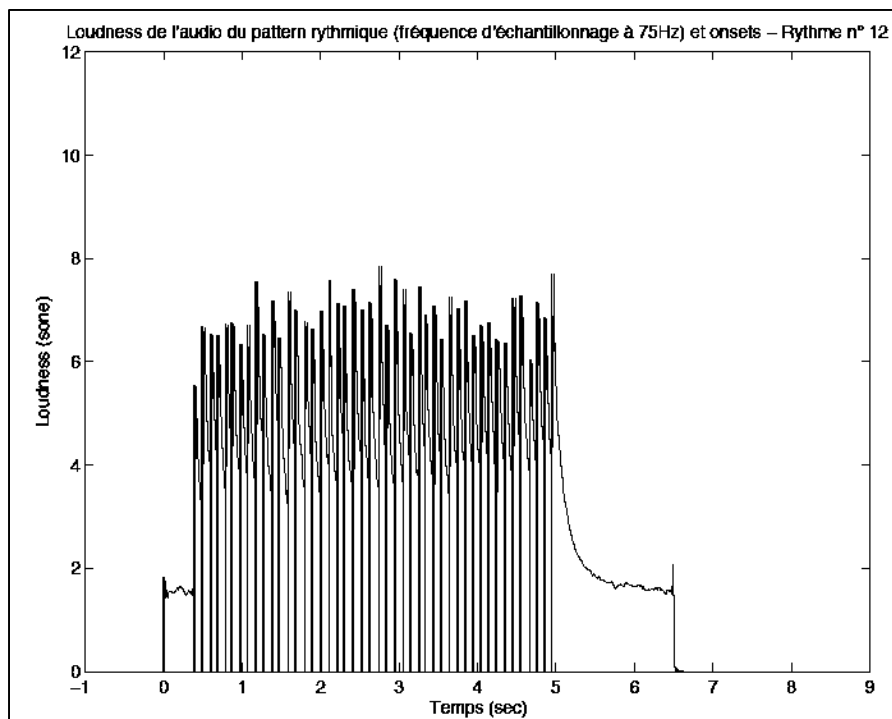


Figure 192: Profil temporel d'intensité du rythme 12 « Graphisme 4 alpha »

La fréquence de frappes évolue comme suit :

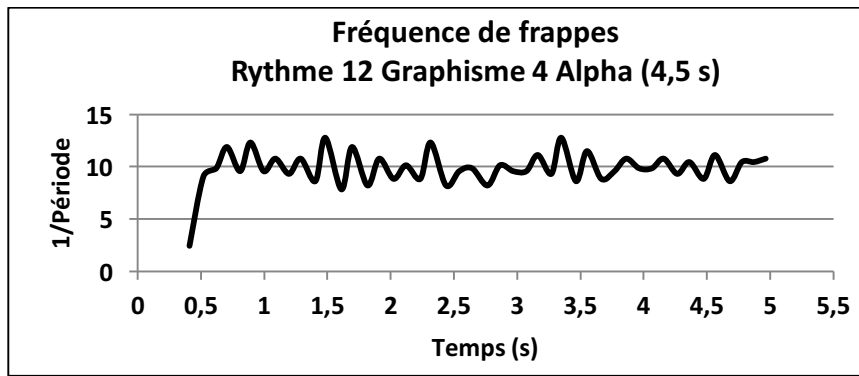
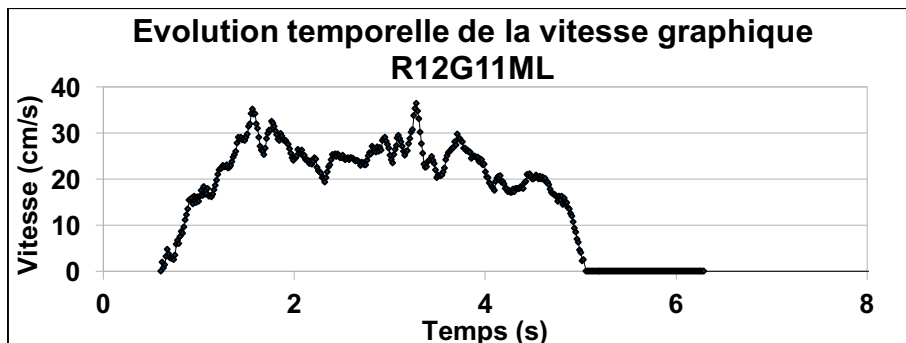
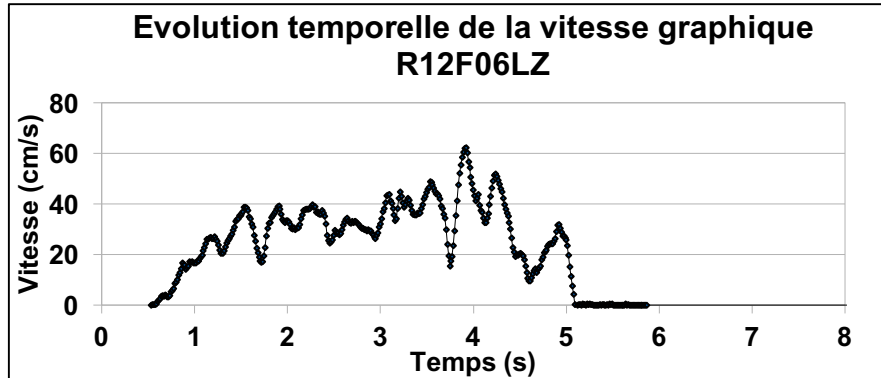


Figure 193: Profil temporel de fréquence de frappes du rythme 12 « Graphisme 4 alpha »

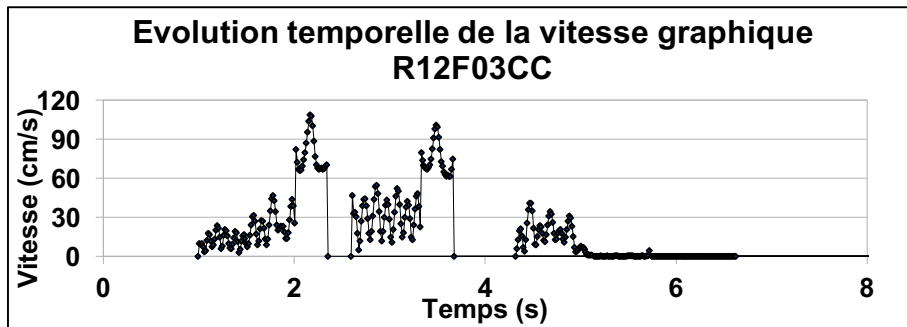
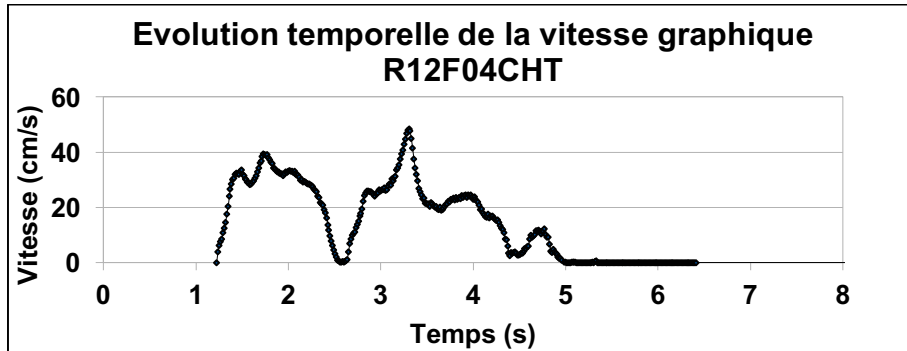
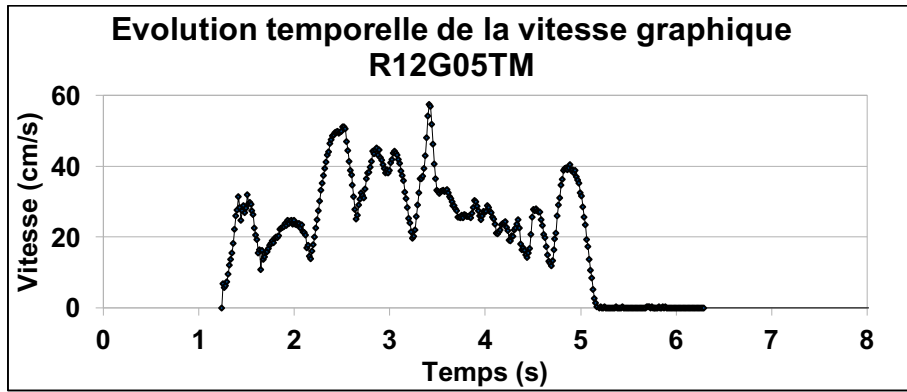
8.1.4.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 12 « Graphisme 4 alpha »

Sur les 33 productions enfantines produites à l'écoute de ce rythme, seules, 15 sont analysables⁷ du fait de la célérité d'un grand nombre de productions en cours de traçage. On distingue trois types de profils, d'allure croissante-décroissante, croissante et en plateau.

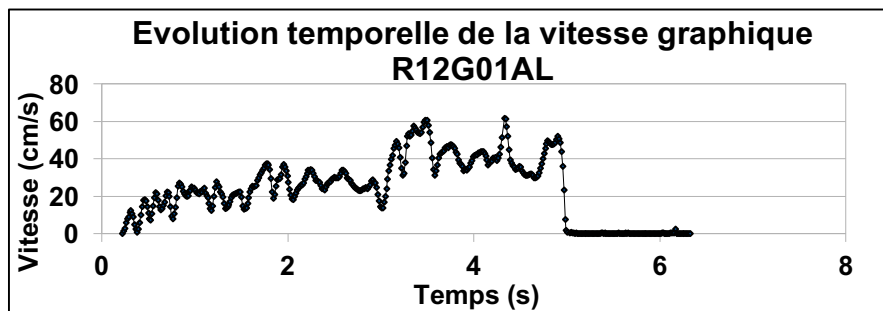
1/ Profil croissant-décroissant (5 productions)

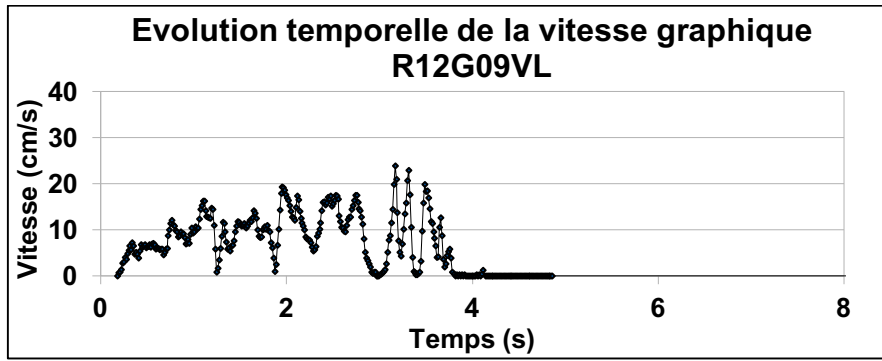


⁷ 18 productions posent un problème de calcul de vitesse lié à la célérité du graphisme durant le traçage.

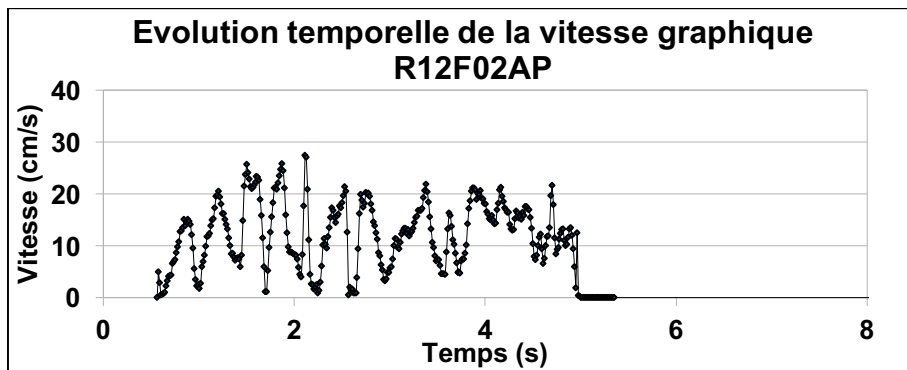
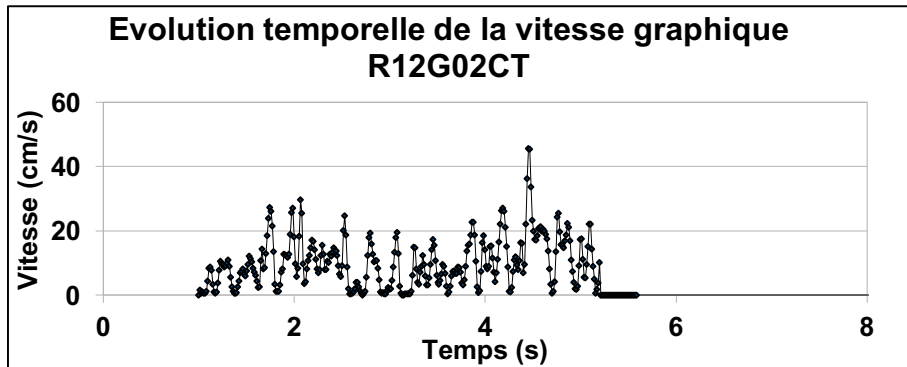
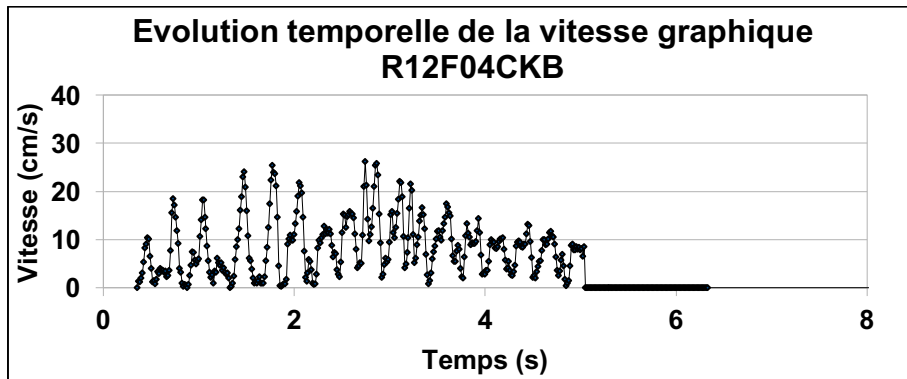


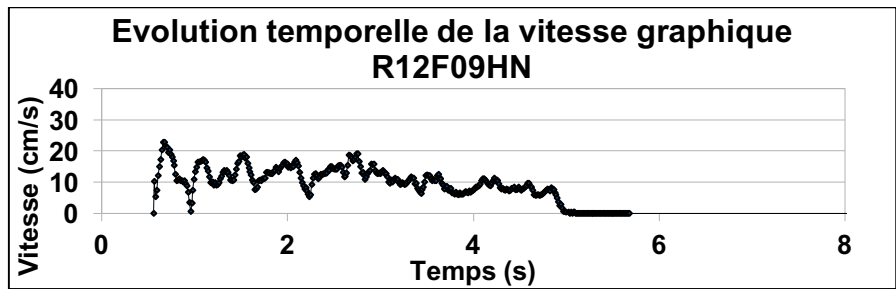
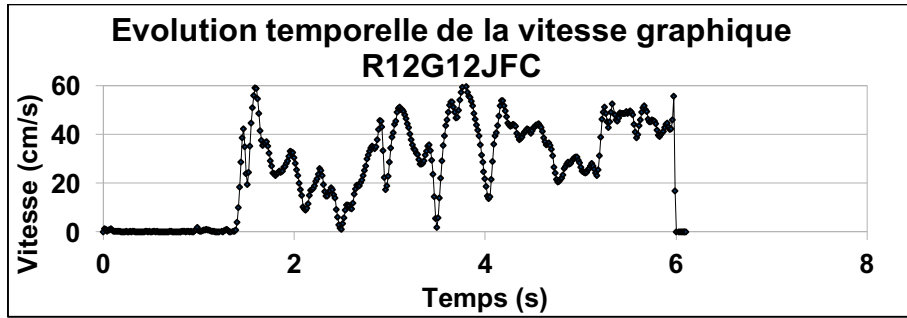
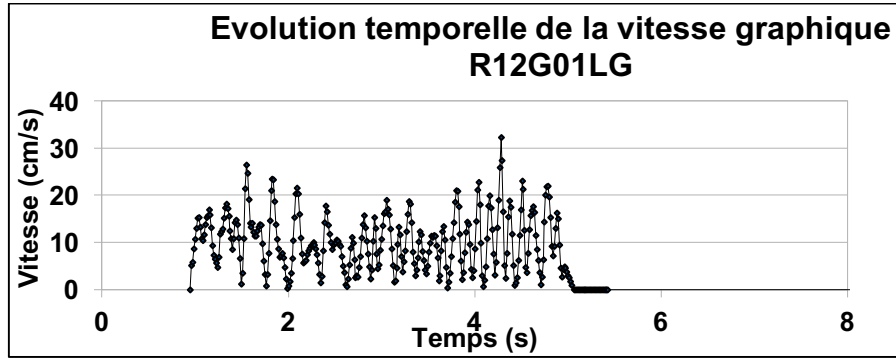
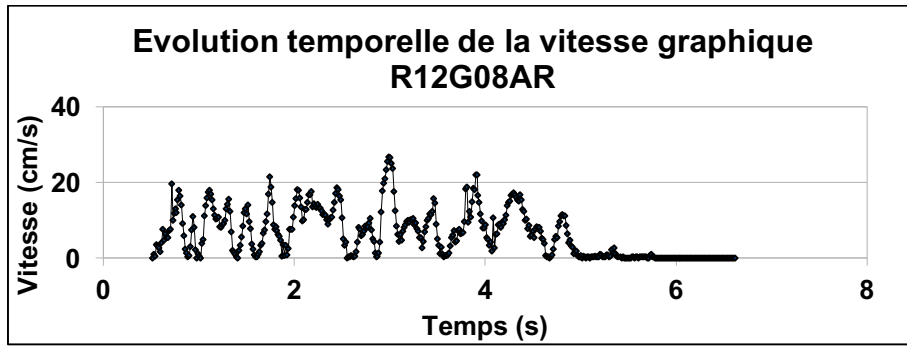
2/ Profil croissant (2 productions)



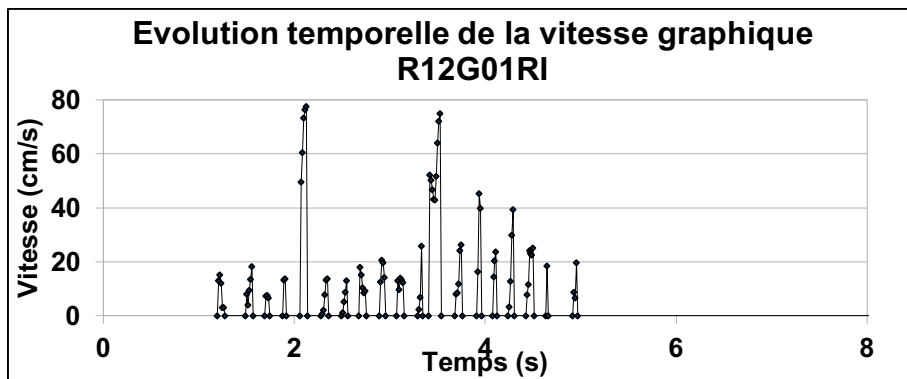


3/ Profil en plateau (8 productions)





Autre : Points



- **Conclusion**

Comparaison B-A

L'allure des profils de l'intensité et de la fréquence de frappes, en plateau, est sans rapport avec celle du profil de vitesse du graphisme originel. Toutefois, la valeur de fréquence de frappes est élevée, en rapport avec le pic de vitesse graphique initiale (50 cm/s).

Comparaison C-B

Huit productions graphiques résultantes ont un profil de vitesse en forme de plateau, proche des profils d'intensité et de fréquence de frappes du rythme. Six productions ont une valeur de vitesse moyenne élevée, atteignant 60 cm/s, en rapport avec la fréquence de frappes, contrastant avec six autres productions de vitesses très modérées (20 cm/s), en rapport avec l'intensité relativement faible et des frappes peu accentuées.

Comparaison C-A

Une seule production (R12G05TM) a un profil croissant-décroissant proche du profil du graphisme originel. Mais on observe que dix tracages sur quinze ont une vitesse croissante dans la première partie de la production graphique, conformément à l'accroissement rapide de la vitesse du graphisme originel. Sept productions graphiques ont une vitesse qui atteint plus de 40 cm/s, en rapport avec le pic de vitesse du graphisme originel (pic à 50 cm/s).

Le degré de ressemblance entre les profils de vitesse des graphismes originels et résultants est faible. Cependant, en termes de valeur, les vitesses résultantes sont en rapport avec celle du graphisme originel. Il est à noter que ce rythme 12 engendre un grand nombre de productions avec une vitesse très importante et qui ne sont pas prises en compte ici. La valeur de vitesse graphique serait donc un élément du mouvement graphique qui est transféré par ce rythme, via la fréquence de frappes en particulier.

8.2 Corrélation entre courbes de vitesse des graphismes originels et des graphismes résultants

Le logiciel mathématique *Matlab* permet de calculer la corrélation maximale entre les courbes de vitesse graphique des tracages des graphismes originels et résultants. Les résultats indiquent que globalement les valeurs de corrélation entre les courbes de vitesse de mouvement graphique sont plus importantes que celles obtenues entre courbe de vitesse graphique et courbe d'intensité perçue dans les rythmes. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'on compare ici des données graphiques entre elles. Les signaux étant de même nature

physique, la valeur de corrélation a une tendance « naturelle » à être plus importante que dans le cas de la comparaison de données de mouvement à des données qui se rapportent au son.

En ce qui concerne précisément la comparaison des vitesses graphiques originelles et résultantes, les statistiques⁸ indiquent que les plus forts taux de corrélation (seuil 0.4) sont obtenus chez le plus grand nombre de sujets avec le rythme 12. Ce rythme permettrait le plus important transfert d'informations de vitesse du graphisme originel aux graphismes résultants. De plus faibles taux de corrélation entre vitesse originelle et vitesse résultante (seuil 0.1) sont obtenus chez le plus grand nombre de sujets (26) avec le rythme 9 et avec le rythme 10 (22). Ces deux rythmes permettraient un moindre transfert d'informations de vitesse mais chez un grand nombre de sujets. Enfin, les taux de corrélation entre vitesse originelle et vitesse résultante sont les plus faibles (seuil 0.1) et sont obtenus chez le moins de sujets avec le rythme R11. Ce rythme permettrait le moins de transfert d'informations de vitesse.

Parmi les quatre rythmes testés, le rythme 12 semble donc être le rythme le plus efficace dans le transfert d'informations de vitesse graphique. Or, les valeurs maximales de corrélation entre les courbes de vitesses graphiques résultantes et la courbe d'intensité⁹ de ce rythme sont les plus faibles de tous les rythmes. Ceci indiquerait que des éléments rythmiques plus prégnants que l'organisation de l'intensité de ce rythme ont permis de véhiculer des informations de vitesse du graphisme originel aux graphismes résultants.

8.3 Comparaison des résultats suivant les deux méthodes d'analyse

Les deux méthodes d'analyse de la transduction, par la comparaison d'allure de profil d'analyse et par le calcul de taux de corrélation entre deux courbes aboutissent à des résultats assez proches concernant la comparaison des vitesses graphiques originelle et résultantes, sachant que la première méthode d'analyse compare essentiellement l'allure générale des profils temporels et prend peu en considération la valeur des vitesses graphiques, alors que la méthode de calcul de corrélation prend les deux éléments en considération.

⁸ Cf. Annexe X : Valeur maximale de corrélation (par seuil) de la vitesse du graphisme originel et de la vitesse des graphismes résultants de l'écoute des rythmes 9, 10, 11, 12.

⁹ Cf. Annexe VII : Valeur maximale de corrélation par seuil de la vitesse graphique et de l'intensité perçue, par rythme.

- **Comparaison des deux méthodes concernant les résultats de transfert d'informations de vitesse graphique selon les rythmes**

Les résultats issus des deux méthodes concordent pour le rythme 12. Ils indiquent un transfert d'informations de vitesse assez efficace notamment en ce qui concerne la valeur de vitesse des graphismes originels proche de celle des graphismes résultants. Toutefois, la première méthode indique un faible degré de ressemblance des profils temporels.

Les résultats de la comparaison des vitesses graphiques originelle et résultantes obtenus via le rythme 11 sont également assez proches suivant les deux méthodes. Dans les deux cas, on estime que l'hypothèse de transfert d'information de vitesse est invalidée.

Les résultats de la comparaison des vitesses graphique originelle et résultantes obtenus sur le rythme 9 sont assez similaires suivant les deux méthodes : la méthode de comparaison d'allure de profil indique un transfert efficace d'informations concernant l'évolution temporelle de la courbe de vitesse et un faible transfert des valeurs de la vitesse graphique. La méthode de calcul indique des taux de corrélation assez bas mais dans un très grand nombre de productions.

De même pour le rythme 10, la méthode de comparaison d'allure de profil indique un transfert relativement efficace d'informations concernant l'évolution temporelle de la courbe de vitesse et un faible transfert des valeurs de la vitesse graphique. La méthode de calcul indique des taux de corrélation assez bas mais dans un grand nombre de productions.

Les résultats obtenus suivant les deux méthodes sont donc approchants, le rythme 12 étant le plus efficace dans le tranfert d'informations de vitesse puis le rythme 9 et 10. Le rythme 11 semble assurer moins efficacement le transfert d'informations de vitesses contenues dans le graphisme originel.

- **Comparaison des deux méthodes concernant les résultats de transfert d'informations de vitesse graphique selon les sujets**

Les deux méthodes permettent de déterminer les sujets dont les productions graphiques ont une vitesse de traçage proche de celle des graphismes originels. Le tableau suivant précise les sujets dont les productions graphiques ont une vitesse de traçage remarquablement corrélée à celle du graphisme originel, suivant la méthode (A) de calcul de corrélation de vitesse¹⁰ et la méthode (B) de comparaison d'allure des profils de vitesse.

¹⁰ Taux de corrélation maximale supérieur au seuil de 0.4.

Rythme	R9		R10		R11		R12	
Méthode	A	B	A	B	A	B	A	B
Enfants	G11ML F04BD F06AB F08AG	G11ML F03CC F06LZ	F04VF F04BD F07CL G06EGC	F04VF F04BD F02AP	G11ML F04BD	G11ML F06LZ G05QD	G05TM G11ML F04CHT F06LZ F09HN G01AL G01RI G12JFC	G05TM

Tableau 90 : Sujets dont la vitesse du graphisme est corrélée à la vitesse graphique originelle

Les résultats obtenus suivant les deux méthodes sont approchants pour quelques sujets (notés en caractères gras). Le sujet G11ML produit des tracés graphiques dont la vitesse est la plus approchante de celle des quatre graphismes originels.

8.2 Bilan

Bien que les résultats obtenus suivant les deux méthodes soient convergents, ils ne permettent pas de valider l'hypothèse de transduction d'informations de vitesse par le rythme et incitent à la prudence quant à leur interprétation. Si l'attention a été focalisée sur les informations d'allure et de valeur des vitesses graphiques et sur le véhicule des informations via la dynamique des rythmes, il demeure difficile de préciser quelles informations sont transmises et par quelles voies. Concernant les méthodes d'analyse de données, chacune pose des difficultés et des limites. L'analyse de séries temporelles est complexe et nécessite la vigilance quant à l'attribution du sens des résultats. L'analyse par le calcul de valeur de corrélation entre courbes permet de prendre en considération l'évolution temporelle des valeurs de vitesse mais les résultats sont éloignés de la réalité, le rapport entre deux courbes étant abstrait dans une seule valeur, la valeur maximale de corrélation. La méthode de comparaison d'allure présente des limites dans la description linguistique de deux profils temporels. Concernant les rythmes, le test ne permet pas de préciser les propriétés rythmiques vectrices d'informations de vitesse puisqu'il ne met en rapport les vitesses de traçage qu'avec les profils d'intensité et de fréquence de frappes sans prendre en considération des données de timbres et d'accentuation dans l'analyse du transfert d'information de vitesse par le rythme.

9 Bilan de l'analyse d'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques

L'analyse des données parvient à mettre en évidence des liens entre des propriétés rythmiques et des propriétés graphiques, liens qui ont été établis par les mouvements graphiques des auditeurs de cinq ans lors de l'écoute de brefs patterns rythmiques.

Appariement de propriétés rythmiques et de propriétés graphiques

L'expérience établit que la dynamique graphique est en lien étroit avec des propriétés d'intensité et de durées du rythme.

Etant donné les régularités graphiques observées selon les différents rythmes, on peut considérer que la forme et la vitesse graphiques sont deux critères pertinents de différenciation des éléments rythmiques perçus par les auditeurs de cinq ans, notamment la taille et la vitesse qui sont les principales propriétés graphiques corrélées à l'organisation de l'intensité et la fréquence de frappes des rythmes. L'analyse des éléments formels et dynamiques du graphisme précise que la dynamique graphique est plus appariée à la dynamique et à l'agogique des rythmes que la forme graphique.

Concernant les effets de propriétés d'intensité, de durées et de timbre sur le graphisme de l'enfant, les résultats obtenus sont dans l'ensemble en accord avec les résultats attendus et les hypothèses opérationnelles sont en grande majorité validées. Le tableau suivant répertorie la totalité des résultats concernant les effets de propriétés rythmiques sur la dynamique et sur la forme graphique.

RYTHME		→ GRAPHISME			
PROPRIÉTÉS		DYNAMIQUE		FORME	
		Vitesse	Traçage	Taille	Trace
INTENSITÉ					
Intensité absolue	<i>Piano</i>	→	Lente		Petite
	<i>Forte</i>	→	Rapide		
Organisation de l'intensité	<i>Crescendo</i>	→	Accélération +++		Croissante ++
	<i>Decrescendo</i>	→	Décélération ++		Décroissante+
Accentuation	Faible	→	Irrégulière	Continu, Joint	
	Forte	→	Patterns cinétiques	Discontinu	Motifs
TIMBRE					
	Alternance	→		Changement d'orientation	
	Variations continues ascendant/descendant	→			Symétrie
	Groupement par effet de hauteur	→	Patterns cinétiques		Motifs
DURÉES					
IOI	Court	→	Rapide	Continu	Courbe
	Long	→	Lente	Discontinu	Anguleux
	Très courts Très longs	→	Irrégulière	Continu apériodique	Plus petite Motifs -
Irrégularité/structure	Syncope	→	Irrégulière +	Discontinu	
	Cycle tronqué	→	Irrégulière ++		Motifs - Formes variées +
Régularité/structure	IOI constants	→	Régulière	Continu Joint	Motif
Organisation des durées					
	Silence	→	Arrêt	Discontinu disjoint	Absence
	Groupement	→	Pattern cinétique		
Tempo	Modéré	→	Lente	Discontinu	
	Rapide	→	Rapide Accélération	Continu	Croissante
	<i>Accelerando</i>	→	Accélération ++		Croissante
	<i>Accelerando rapide</i>	→	Accélération +++		Croissante +
	<i>Rallentando</i>	→	Ralentissement +++		Décroissante ++
Irrégularité/périodicité	Retard final	→	Ralentissement	Arrêts	

Tableau 91: Bilan des effets de propriétés rythmiques sur le graphisme

Quelques résultats sont remarquables et indiquent un appariement solidement établi entre des éléments d'intensité et de durées rythmiques et la forme et la dynamique du graphisme. La forme et la vitesse du graphisme sont fortement appariées à l'intensité du

rythme. Les réactions graphiques suivant les paramètres sonores opposés *crescendo-decrescendo* sont opposées en termes de cinématique, accélération-décélération, et d'évolution de taille, croissante-décroissante. Elles sont asymétriques : la vitesse du mouvement graphique croît plus sur un *crescendo* qu'elle ne décroît sur un *decrescendo*. Il reste encore nécessaire de vérifier et de rechercher une explication à cette asymétrie des réactions graphiques. L'analyse des taux de corrélation vitesse-intensité confirme que la vitesse du graphisme produit par l'enfant est liée à l'organisation de l'intensité du rythme écouté. Elle permet de préciser que l'appariement vitesse-intensité serait d'autant plus important que l'intensité des rythmes varie fortement, soit localement ou sur la durée de l'item. La vitesse du graphisme est également solidement appariée à la fréquence de frappes. Les réactions motrices sont opposées et symétriques, un *accelerando* engendrant une accélération du graphisme, un *rallentando*, une décélération graphique.

Phénomènes d'induction motrice et de synchronisation graphique

On constate que les phénomènes d'induction motrice et de synchronisation sont provoqués ou favorisés par certaines propriétés rythmiques combinées.

L'analyse du phénomène d'induction motrice permet de préciser les propriétés rythmiques qui sont les plus inductrices de mouvement graphiques dans cette phase d'initiation graphique. Conformément aux données empiriques antérieures concernant les effets dynamogéniques des rythmes, on constate qu'une intensité *forte* et une accentuation par intensification des frappes constituent deux éléments dynamogènes. La fréquence des impulsions rythmiques est également un facteur important d'induction motrice. Le tempo combiné avec l'accentuation intensive des frappes et la cyclicité du motif rythmique sont deux éléments musicaux dynamogènes. L'on observe la réactivité de mouvement de l'auditeur suivant l'effet combiné d'un *forte* et d'une fréquence de frappes élevée.

En dépit de la brièveté des items proposés, on repère chez ces auditeurs de cinq ans une volonté de synchroniser leurs tracés avec le son. La coordination audio-motrice s'effectue de manière privilégiée suivant la pulsation des rythmes et semble favorisée par des propriétés rythmiques de simplicité, de périodicité, d'accentuation, de segmentation interne et de groupement en motifs, de cyclicité, sans *rallentando*, et de tempi proches de leur tempo moteur spontané. En revanche, les structures plus complexes ou plus irrégulières provoquent une arhythmie motrice. On constate également que la synchronisation peut être établie en variant la vitesse du graphisme suivant l'évolution de la fréquence de frappes. Une désynchronisation du graphisme survient lorsque la fréquence de frappes devient trop élevée.

Si l'on veut rechercher les éléments rythmiques saillants chez l'enfant de cinq ans par l'étude de la synchronisation audio-motrice, il semble nécessaire de tester des rythmes dans des zones proches de leur tempo moteur spontané.

Hypothèse de transduction

Les résultats du test de transduction ne permettent pas de valider l'hypothèse du transfert d'informations de vitesse d'un mouvement graphique initial à un mouvement graphique résultant, via l'information de vitesse véhiculée par les propriétés dynamo-agogiques du rythme. En effet, trop peu de productions graphiques résultantes présentent de similitudes avec les productions graphiques originelles en termes de valeur et d'évolution temporelle de la vitesse.

L'hypothèse semble cependant pouvoir être maintenue car quelques cas indiquent une ressemblance entre profils temporels dynamiques graphiques originels et résultants. Les conditions d'expérience devraient être modifiées en vue d'améliorer l'efficacité du test. Les graphismes originels pourraient émaner de mouvements plus archétypaux afin que les propriétés dynamiques (profil temporel et valeur de vitesse) du traçage puissent être plus efficacement transférées dans le rythme. Concernant la production des rythmes en référence au traçage du graphisme originel, le transfert d'informations dynamiques d'un geste graphique frotté à un geste rythmique percussif pose de réelles difficultés instrumentales et offre la possibilité de propositions musicales diverses. L'on pourrait sélectionner ces items en mesurant la corrélation de données rythmiques avec les données de vitesse des graphismes originels. Il est sans doute nécessaire de proposer des items plus longs et aux propriétés rythmiques très contrastées, afin que les auditeurs puissent mieux saisir, sentir et exprimer par leurs mouvements graphiques les variations rythmiques. On pourrait également envisager la répétition de l'activité de traçage par le même auditeur sur un même rythme afin de mesurer la stabilité des productions individuelles et dégager d'éventuelles règles dans la transduction d'informations de vitesse.

Intersubjectivité Intrasubjectivité

Sur le plan de la variabilité intersubjective, le genre et l'âge des sujets n'apparaissent pas déterminants dans l'appariement des propriétés rythmiques et des propriétés graphiques. Seules, quelques tendances se dégagent dans la variation de production graphique selon le genre ou en lien avec la maturité des sujets. Le nombre de participants étant trop limité pour en tirer de solides conclusions, ces tendances devraient être vérifiées à plus grande échelle avec une étude transversale permettant de comparer des groupes d'âge plus différenciés.

L'analyse intrasubjective semble indiquer le caractère subjectif voire idiosyncrasique de la dynamique grapho-motrice. Cependant, le corpus de données de l'expérience pourrait être exploité avec des études de cas complémentaires concernant la recherche sur la régularité et la spécificité des réactions dynamiques graphiques de ces sujets.

Méthode

Sur le plan de la méthode, les résultats analysés proviennent pour l'essentiel de l'analyse audiovisuelle des vidéos des tracages effectués par les enfants de cinq ans à l'écoute de patterns rythmiques.

Le visionnage permet d'analyser l'évolution du tracage et son rapport avec le rythme. Toutefois, il présente une limite importante liée à la difficulté d'évaluer la vitesse d'un graphisme indépendamment de la forme tracée et d'analyser les propriétés rythmiques dynamiques indépendamment des propriétés de durées. Enfin, cette méthode nécessite un contrôle avec l'intervention d'un second analyste pour le décodage des données.

L'analyse mathématique présente l'intérêt d'étudier des facteurs combinés, la courbe d'intensité du rythme prenant en considération l'instant des frappes. En revanche, elle s'écarte du matériau rythmique et du mouvement graphique pour abstraire les données de l'appariement de courbes, les réduisant à un taux de corrélation. D'autre part, elle pose le problème de l'analyse de données émanant d'objets de nature physique différente, dans le cas de la comparaison de courbes d'intensité du rythme et de courbes de vitesse du graphisme. Ces éléments incitent à une réflexion plus poussée en ce qui concerne les outils et les données manipulées.

Conclusion

L'objectif en arrière-plan de l'analyse était la recherche de liens entre les mouvements graphiques et l'information de *mouvement* portée par la dynamo-agogique du rythme. Or, l'étude de l'appariement des rythmes et des tracages graphiques a porté sur des données rythmiques le plus souvent isolées, provenant de patterns rythmiques simples, voire protorythmiques. Certes, elle fournit de précieuses indications concernant l'influence sur le tracage de l'évolution temporelle de propriétés rythmiques isolées mais ne parvient pas à étudier les propriétés combinées d'intensité et de durées du rythme, supposées vectrices d'informations de vitesse de *mouvement* du rythme. Par exemple, avec le rythme R11 Graphisme arche dont les propriétés dynamo-agogiques varient durant l'item, on constate une irrégularité de la vitesse graphique et une accélération qui peuvent être liées à la variation

d'intensité et/ou à l'évolution de la fréquence de frappes. Il est impossible d'attribuer une cause rythmique précise à ces réactions graphiques.

Deux voies de progrès peuvent être envisagées, d'une part en améliorant les méthodes et outils d'analyse des formes dynamiques, d'autre part en modifiant les variables de l'expérience, rythme et graphisme. Concernant les rythmes, on a vu l'intérêt des protorythmes qui, grâce à la simplicité de leurs caractéristiques, permettent l'attribution de causes rythmiques aux réactions graphiques. L'analyse des effets de propriétés dynamo-agogiques pourrait progresser avec l'étude de protorythmes combinant ces propriétés. On pourrait tester des réactions graphiques selon des rythmes simples combinant un *crescendo* à un *accelerando*, susceptibles d'engendrer une forte accélération graphique, ou encore un *decrescendo* combiné à un *rallentando*, engendrant probablement un ralentissement du graphisme plus fort qu'un *decrescendo* seul ou qu'un *rallentando* seul. Certes, ces protorythmes s'éloignent du rythme musical par un appauvrissement du matériau. En revanche, ils présentent l'intérêt majeur d'un haut niveau de signifiante et assurent la fiabilité des résultats d'analyse de l'appariement entre rythme et graphisme. Concernant les productions graphiques, on constate que l'activité de représentation graphique *enactive* est complexe. Elle nécessite d'analyser au cours de la production graphique les interférences entre mouvement et forme, entre traçage et tracé. Le mouvement a lui-même une forme qu'il faudrait parvenir à mieux décrire. Le traçage peut être incontrôlé et la gesticulation traçante correspondre à une décharge motrice : le mouvement est effectué malgré soi. Il peut également être lié à un mouvement volontaire dont le tracé n'est que la résultante : le mouvement est effectué pour le mouvement. Le traçage peut encore être induit par la volonté du sujet de tracer une forme graphique : le mouvement est guidé par la forme à venir. L'interférence du traçage et de la trace en cours de formation pourrait être évitée en testant un stylo sans encre, qui focalise l'attention sur le mouvement et non sur la trace du mouvement. Ces précisions sont nécessaires tant pour la compréhension de l'activité du sujet au moment de la passation que pour l'analyse des productions graphiques avec la mise en relation de la dynamique graphique et de la dynamique rythmique.

CONCLUSION

Au terme de cette thèse et dans le cadre que nous avons défini, nous pouvons effectuer un bilan concernant les apports et les limites de cette tentative d'approche empirique du *mouvement* du rythme et présenter quelques approfondissements et prolongements envisagés au-delà de cette première étape.

Apports et limites de l'expérience

Le bilan est effectué au regard des trois hypothèses théoriques qui ont été posées.

- **Nature du *mouvement* du rythme**

On a supposé que le *mouvement* du rythme pouvait être identifié, reconnu et représenté par l'évolution temporelle des propriétés d'intensité et de durées et qu'il pouvait être décrit par l'information de vitesse contenue dans l'évolution temporelle de l'intensité, des durées ou de la combinaison des deux.

L'objectif qui visait l'approche du *mouvement* du rythme est très partiellement atteint. En effet, l'étude de l'appariement des rythmes et des traçages graphiques ne parvient pas à prendre en considération la dynamo-agogique des rythmes, combinaison des propriétés d'intensité et de durées supposée vectrice d'informations de vitesse et facteur de *mouvement* du rythme. L'analyse des données rythmiques très simplifiées ne peut rendre compte de la complexité du phénomène. L'expérience permet toutefois d'enregistrer des dynamiques graphiques et parvient à montrer leur appariement avec des propriétés rythmiques d'intensité et de durée. Elle précise également que la vitesse graphique évolue dans le temps suivant ces propriétés. L'analyse fournit des indications concernant l'influence sur le traçage de l'évolution temporelle de propriétés rythmiques isolées provenant de patterns rythmiques simples et de proto-rythmes. Ces derniers présentent un intérêt par leur haut niveau de signifiante : ils ont permis d'attribuer des causes rythmiques précises aux effets graphiques.

- **Description du *mouvement* du rythme par le mouvement graphique de l'auditeur**

On a supposé que l'auditeur établit des relations entre des propriétés dynamo-agogiques rythmiques et vitesse du mouvement graphique.

L'expérience montre que l'auditeur établit des relations entre des propriétés d'intensité et de durée et la vitesse du mouvement de son graphisme. Nos hypothèses opérationnelles d'appariement de propriétés d'intensité et de durées rythmiques et de propriétés graphiques

sont dans l'ensemble vérifiées. D'une part, les propriétés dynamiques du rythme sont solidement appariées à la vitesse et à la taille des propriétés graphiques. Les réactions graphiques suivant les paramètres sonores opposés *crescendo-decrescendo* sont opposées en termes de cinématique, accélération-décélération, et d'évolution de taille, croissante-décroissante, et asymétriques : la vitesse du mouvement graphique croît plus sur un *crescendo* qu'elle ne décroît sur un *decrescendo*. L'appariement vitesse-intensité semble d'autant plus important que l'intensité des rythmes varie fortement, soit localement ou sur la durée de l'item. D'autre part, les propriétés liées à la fréquence des frappes du rythme sont solidement appariées à la vitesse du traçage graphique. Les réactions motrices sont opposées et symétriques, un *accelerando* engendrant une accélération du graphisme, un *rallentando*, une décélération graphique.

• **Description du mouvement du rythme par le mouvement graphique de l'auditeur de cinq ans**

On a supposé que les rythmes induisent chez l'auditeur de cinq ans des mouvements graphiques qui varient suivant les propriétés dynamo-agogiques du rythme.

On constate que les représentations graphiques effectuées par les enfants lors de l'écoute des rythmes sont uniformément de mode *enactif*. La consigne

« Quand tu seras prêt, déclenche le stylo, mets sur le papier le rythme que tu entends. Bouge le stylo comme le rythme. » ... « bouge avec le rythme »

a probablement été interprétée dans le sens recherché par l'expérimentatrice : les représentations *enactives* ont permis aux enfants de capter des informations rythmiques et de les projeter dans l'espace graphique par l'action. L'absence de représentations figuratives ou symboliques indique que, dans l'expérience, l'aspect dynamique du graphisme prime sur la forme. Ceci peut également avoir été causé par la brièveté des rythmes qui limite le recours aux modes de représentation iconique et symbolique. Ceux-ci attribueraient une place privilégiée à la forme graphique. Des rythmes plus longs et plus complexes engendreraient-ils plus de variations des formes et des dynamiques graphiques ?

Les traçages des auditeurs de cinq ans sont en lien avec les rythmes et sont différenciés selon des propriétés rythmiques. L'expérience montre des régularités dans l'appariement des mouvements graphiques et des propriétés d'intensité et de durée des rythmes. Elle indique que, généralement, les productions sont plutôt indépendantes du genre et de la maturité des individus. En revanche, elle tend à montrer le caractère idiosyncrasique des productions grapho-motrices.

Sur le plan méthodologique, les nouvelles technologies permettent une avancée sur la mesure en temps réel de la dynamique du son en rapport avec les mouvements corporels de l'auditeur. L'expérience a requis deux outils particulièrement utiles à la saisie des données dynamiques graphiques et rythmiques. Le stylo électronique est une technique innovante de capture du mouvement graphique et de l'environnement sonore. Il permet l'enregistrement numérique des réactions dynamiques de l'auditeur et de l'environnement sonore dont le rythme, durant l'écoute musicale. La numérisation du son et du traçage rend les données comparables, leur traitement permettant d'établir des profils temporels de paramètres rythmiques et de données cinématiques du traçage.

Concernant les méthodes de traitement des données, un outil d'analyses mathématiques (Matlab) a été utilisé en vue de la comparaison automatique de l'évolution de deux séries temporelles, rythme et graphisme. Les passerelles entre disciplines informatiques, physique acoustique et mathématiques sont d'un grand intérêt pour la musicologie. Toutefois, cette démarche oblige à la vigilance quant à l'interprétation des résultats et à une réflexion plus poussée concernant les outils et les données manipulées.

Limites

L'analyse de l'appariement rythme-graphisme nous a menée à rendre compte du *mouvement* essentiellement par des facteurs de mobilité que sont l'organisation de l'intensité et des durées du rythme. L'analyse, globalisante, du *mouvement* comme une propriété d'ensemble de la matière musicale n'a pas été effectuée. Or, la recherche sur le *mouvement* musical porte nécessairement sur ce double plan. Il sera donc nécessaire d'analyser le *mouvement* du rythme comme caractéristique globale de la forme et comme moyen d'expression.

Le répertoire graphique exhaustif établi lors de l'analyse des formes dynamiques graphiques et de l'analyse de la synchronisation audio-motrice indique que le mouvement et les motifs graphiques sont appariés terme à terme à des éléments rythmiques saillants au fil de l'écoute. Des éléments de structure de la forme rythmique élémentaire apparaissent au cours de l'écoute et au cours du traçage et sont résiduels dans la trace. La consigne induit la synchronisation : le traçage en temps réel de l'écoute aboutit à ces résultats. Ceci a été indispensable pour l'analyse de l'appariement des éléments rythmiques et graphiques. Cependant, l'étude de la forme globale du *mouvement* rythmique nécessite probablement un autre dispositif. Un traçage suivant immédiatement l'écoute du rythme semble plus apte à saisir et représenter la forme globale du pattern. Il s'agirait de multiplier les écoutes de patterns pour produire un geste graphique qui s'appuie sur l'empreinte de la forme rythmique

laissée dans la mémoire de l'auditeur. Ceci permettrait de rechercher des formes archétypales de *mouvement* rythmiques et graphiques mais également de traiter de l'expressivité du rythme, si le contenu graphique en est enrichi. En revanche, sur le plan de l'audition, ceci nécessiterait un apport conséquent de données provenant des théories de la mémoire, de l'attention, de l'organisation perceptive, de la prise d'informations et du contrôle moteur.

Approfondissements et prolongements

Concernant le corpus de patterns étudiés, le timbre et l'accentuation des frappes sont deux éléments très importants de structuration des rythmes joués sur darbuka. Les accents rythmiques, aux effets dynamogènes avérés, ont été peu pris en considération dans l'analyse de l'appariement des rythmes et des graphismes alors qu'ils ont certainement fortement influencé les réactions motrices des enfants. L'analyse des données enregistrées nécessite des outils d'analyse performants afin de prendre en considération cet élément rythmique essentiel dans la formation du *mouvement* du rythme.

Sur le plan de l'analyse de facteurs rythmiques combinés, l'analyse des effets combinés des propriétés dynamo-agogiques sur le traçage pourrait être envisagée en créant des rythmes constitués de deux paramètres et en testant des patterns par paires opposées (*accelerando* et *crescendo* ou *accelerando* et *decelerando*).

L'important corpus de traçages constitue une banque de données encore largement exploitables concernant l'appariement des propriétés rythmiques et graphiques et l'analyse intrasubjective des réactions graphiques. Une nouvelle étude longitudinale permettrait de dégager des facteurs subjectifs liés aux qualités grapho-motrices individuelles. Par ailleurs, la reproduction de l'expérience chez un même sujet pourrait permettre d'analyser l'évolution dans la prise d'indices de *mouvement* rythmique. Concernant l'analyse intersubjective, une étude transversale reste nécessaire en vue de vérifier les tendances liées au genre et à la maturité des sujets.

Concernant les conceptions théoriques du *mouvement* du rythme, les éléments bibliographiques ont été sélectionnés avec une approche conjointe du *mouvement* et du rythme. Il est indispensable d'étendre ces recherches suivant des termes synonymes de *mouvement* tel que flux, dynamisme, énergie, ou irrégularité, changement, instabilité. De plus amples recherches sont nécessaires sur les facteurs de mobilité, sur la forme du *mouvement* et sur les processus à l'œuvre dans la formation et le développement du *mouvement* du matériau rythmique. On pourra également enrichir les données sur des conceptions et des notations contemporaines de représentation du *mouvement*.

La forme dynamique est un outil conceptuel et méthodologique intéressant pour l'étude des *mouvements* rythmiques et pour leur analyse par des mouvements de l'auditeur. Il est toutefois encore difficile de concevoir la forme sur le plan sonore. Sur le plan graphique, les rapports entre la dynamique et la forme pourraient être étudiés notamment avec l'analyse de la trace et des données résiduelles de la cinématique du traçage. On pourrait par ailleurs chercher à libérer le mouvement graphique par de moindres interférences entre la main et l'œil. Un stylo sans encre permettrait, en évitant la trace, de centrer l'attention de l'auditeur sur le mouvement graphique, sur la kinesthésie.

Le mouvement est à la racine et au cœur de la problématique des aspects dynamiques de l'expérience musicale et de l'expérience humaine. Des données supplémentaires sur les propriétés amodales de ces expériences seraient utiles à l'approfondissement de l'analyse des appariements des dynamiques rythmiques et grapho-motrices.

Enfin, les données de pression de la main de l'auditeur sur la feuille n'ont pu être enregistrées par le stylo électronique. Elles seraient néanmoins complémentaires des données cinématiques graphiques dans l'analyse de la réactivité motrice et affective aux rythmes. Prendre en considération la pression du mouvement graphique de l'auditeur permettrait de compléter l'hypothèse centrale selon laquelle l'évolution temporelle de propriétés rythmiques dynamo-agogiques fournit à l'auditeur une information de force et de vitesse qui engendre l'évolution de la pression et de la vitesse de traçage. Cette démarche viendrait enrichir l'analyse de la forme dynamique rythmique sur le plan du flux émotionnel et de l'expressivité et renouvellerait la voie empirique par laquelle on cherche à cerner le problème complexe du *mouvement* du rythme, où la méthode se cherche en même temps que l'objet.

ANNEXES

Liste des annexes :

Annexe I : Tableaux des résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les 24 rythmes

Annexe II : Graphiques des 24 patterns rythmiques percussifs : sonagramme, profil d'intensité et profil de fréquence de frappes par rythme

Annexe III : Liste des tâches liées au calcul sur le logiciel Matlab de la corrélation de l'intensité du pattern rythmique et de la vitesse du graphisme

Annexe IV : Valeur maximale de corrélation (par seuil) de la vitesse graphique et de l'intensité perçue à l'instant des frappes, par rythme

Annexe V : Liste des productions graphiques selon le seuil de corrélation vitesse-intensité

Annexe VI : Tableaux de comparaison des données dynamiques et formelles graphiques et de synchronisation audiographique, selon les propriétés des rythmes

Annexe VII : Valeur maximale de corrélation (par seuil) de la vitesse graphique et de l'intensité perçue, par rythme

Annexe VIII : Graphiques des délais de démarrage du traçage après le début de chaque pattern rythmique selon les sujets, par rythme

Annexe IX : Graphiques des délais de démarrage du traçage après le début de chaque pattern rythmique selon les rythmes, par sujet

Annexe X : Valeur maximale de corrélation (par seuil) de la vitesse du graphisme originel et de la vitesse des graphismes résultants de l'écoute des rythmes 9, 10, 11, 12

1 Annexe I : Tableaux des résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les 24 rythmes

GRAPHISME	RYTHME			
	R1 Trot	R2 Galop	R3 Grand galop	R4 Sept sauts
Nombre de productions analysées sur 33	32	33	33	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	60%	75%	90%	80%
Vitesse élevée		5%	40%	5%
Vitesse irrégulière	30%	10%	5%	25%
Accélération	3%	25%	25%	3%
Décélération		3%	3%	5%
Problème de mesure de vitesse	13%	20%	40%	15%
Problème lié à vitesse élevée		3%	35%	3%
Problème lié à forte accélération			15%	3%
Problème en début de production	10%	5%	15%	5%
Lié à vitesse			12%	3%
Lié à accélération			3%	3%
Problème en milieu de production	3%	5%	10%	5%
Lié à vitesse		3%	10%	
Lié à accélération			3%	
Problème en fin de production		10%	15%	3%
Lié à vitesse			12%	
Lié à accélération			10%	
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	70%	50%	75%	70%
Périodique et continue	15%	20%	45%	45%
Périodique et discontinue	40%	20%	15%	20%
Périodique et disjointe	13%	10%	15%	5%
Apériodique et jointe	30%	20%	10%	10%
Nombre de formes graphiques : 1	100%	70%	85%	80%
2		20%	15%	12%
3				5%
Taille : Grand	15%	20%	35%	40%
Moyen	55%	45%	45%	55%
Petit	30%	25%	20%	5%
Moyenne-petite				
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	90%	90%	70%	45%
Croissante	3%	10%	25%	50%
Décroissante		3%	5%	3%
- Traitement de l'espace : Aligné	90%	80%	80%	80%
Diffus	10%	15%	20%	20%
Sur place	3%	3%		
- Graphisme Joint	85%	85%	80%	85%
Disjoint	15%	15%	20%	15%
Joint-disjoint				

Disjoint-joint				
Continu	60%	60%	75%	65%
Discontinu	40%	40%	25%	35%
Continu /arrêt				
Arrêt/continu				
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchrone	45%	50%	50%	45%
Intention de synchronisation	20%	30%	10%	10%
Synchrone	25%	25%	40%	35%
Asynchrone	14	20%	20%	20%
Désynchronisation	5%	20%	12%	20%
Synchronisation	5%	10%	20%	15%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation	10%	60%	70%	65%
Frappe	40%			
Élément indéterminé				
Demi-pulsation	3%	3%		3%
Intensité ou hauteur				
1 pulsation sur 2	3%	5%	3%	
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation	15%	80%	80%	90%
Frappes	45%	3%		
Intensité				
Élément instable		10%	5%	10%
Élément indéterminé				
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation		5%	5%	
Frappes puis fréquence de frappes				
Fréquence de frappes puis frappes				
Pulsation puis fréquence de frappes				
Demi-pulsation puis pulsation				5%

Tableau 92: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R1 à R4

	RYTHME			
GRAPHISME	R5 Elan-saut	R6 Tourner	R7 Tourner en accélérant	R8 Tournoyer
Nombre de productions analysées sur 33	33	33	32	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	75%	70%	75%	70%
Vitesse élevée	60% ++	20%	60%	40%
Vitesse irrégulière	25%	30%	15%	15%
Accélération	20%	5%	90%	30%
Décélération		3%		
Problème de mesure de vitesse	70% +	40%	40%	40%
Problème lié à vitesse élevée	50% ++	15%	25%	25%
Problème lié à forte accélération	10%	3%	40%	10%
Problème en début de production	45%	30%	20%	25%
Lié à vitesse	35%	15%	20%	4%
Lié à accélération	0%		20%	
Problème en milieu de production	25%	12%	3%	12%
Lié à vitesse	15%			12%
Lié à accélération	10%	3%	3%	10%
Problème en fin de production			12%	
Lié à vitesse			3%	
Lié à accélération			12%	
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	80%	65%	80%	75%
Périodique et continue	30%	30%	55%	45%
Périodique et discontinue	30%	30%	20%	15%
Périodique et disjointe	20%	5%	3%	12%
Apériodique et jointe	5%	12%	12%	12%
Nombre de formes graphiques : 1	80%	75%	90%	85%
2	20%	20%	12%	12%
3		3%		3%
Taille : Grand	35%	50%	60%	35%
Moyen	45%	40%	40%	55%
Petit	15%	10%	3%	10%
Moyenne-petite	5%			
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	60%	70%	45%	65%
Croissante	20%	20%	45%	35%
Décroissante	10%	3%	10%	
- Traitement de l'espace : Aligné	75%	70%	70%	80%
Diffus	25%	30%	30%	15%
Sur place			3%	3%
- Graphisme Joint	50% (mini)	85%	80%	80%
Disjoint	10%	15%	20%	20%
Joint-disjoint	40%			
Disjoint-joint				
Continu	45%	80%	85%	95%
Discontinu	55% à la fin	15%	10%	5%
Continu /arrêt				
Arrêt/continu		3%	5%	
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchrone	60%	50%	30%	65%
Intention de synchronisation	40%	25%	10%	35%
Synchrone	20%	25%	20%	30%

Asynchrone	20%	12%	20%	25%
Désynchronisation		10%	40%	5%
Synchronisation	20%	10%	10%	5%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation		65%	80%	40%
Frappe	60%	20%		
Élément indéterminé	25%	3%		
Demi-pulsation				35%
Intensité ou hauteur				
1 pulsation sur 2				
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation		65%	80%	75%
Frappes	60%	20%	3%	
Intensité				
Élément instable			3%	3%
Élément indéterminé	25%	3%		
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation				3%
Frappes puis fréquence de frappes				
Fréquence de frappes puis frappes				
Pulsation puis fréquence de frappes				
Demi-pulsation puis pulsation				

Tableau 93: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R5 à R8

	RYTHME			
GRAPHISME	R9 Graphisme pointu	R10 Graphisme Boucle	R11 Graphisme Arche	R12 Graphisme Alpha
Nombre de productions analysées sur 33	33	32	31	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	85%	50%	65%	65%
Vitesse élevée	10%	40%	45%	50%
Vitesse irrégulière		40%	30%	30%
Accélération	3%	35%	40%	15%
Décélération				
Problème de mesure de vitesse	20%	30%	40%	55%
Problème lié à vitesse élevée	10%	20%	40%	50%
Problème lié à forte accélération	0	10%	5%	10%
Problème en début de production	10%	15%	20%	40%
Lié à vitesse	3%	12%	20%	35%
Lié à accélération		3%		10%
Problème en milieu de production	5%	5%	13%	13%
Lié à vitesse	3%	3%	13%	13%
Lié à accélération		3%		3%
Problème en fin de production	3%	5%	3%	6%
Lié à vitesse	3%	5%		3%
Lié à accélération		3%		
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	55%	50%	50%	55%
Périodique et continue	35%	35%	45%	45%
Périodique et discontinue	10%	10%		5%
Périodique et disjointe	10%	5%	3%	3%
Apériodique et jointe	20%	25%	25%	25%
Nombre de formes graphiques : 1	80%	75%	80%	80%
2	20%	25%	20%	20%
3				
Taille : Grand	20%	12%	50%	50%
Moyen	60%	50%	40%	45%
Petit	20%	40%	10%	
Moyenne-petite				
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	90%	70%	60%	50%
Croissante	5%	15%	40%	30%
Décroissante	3%	10%		15%
- Traitement de l'espace : Aligné	95%	85%	60%	45%
Diffus	3%	12%	30%	30%
Sur place	3%		15%	20%
- Graphisme Joint	60%	90%	95%	90%
Disjoint	10%	12%	10%	15%
Joint-disjoint	30% milieu			
Disjoint-joint				
Continu	35%	70%	100%	100%
Discontinu	60% milieu	30% milieu		
Continu /arrêt				
Arrêt/continu				
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchronie	90%	75%	75%	60%
Intention de synchronisation	85%	75%	75%	55%

Synchrone	5%			5%
Asynchrone		15%	15%	20%
Désynchronisation	3%		5%	10%
Synchronisation	5%	5%		10%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation				
Frappe	40%		60%	60%
Élément indéterminé	60%	5%	20%	20%
Demi-pulsation				
Intensité ou hauteur	3%	45%		
1 pulsation sur 2				
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation				
Frappes	40%		70%	60%
Intensité	3%	80%		
Élément instable				
Élément indéterminé	60%	5%	20%	20%
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation				
Frappes puis fréquence de frappes				
Fréquence de frappes puis frappes				
Pulsation puis fréquence de frappes				
Demi-pulsation puis pulsation				

Tableau 94: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R9 à R12

GRAPHISME	RYTHME	
	R13 <i>Crescendo</i>	R14 <i>Decrescendo</i>
Nombre de productions analysées sur 33	33	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE		
Patterns cinétiques	85%	65%
Vitesse élevée	50%	45%
Vitesse irrégulière	non	+ 10%
Accélération	100%	10%
Décélération		+ 60%
Problème de mesure de vitesse	45%	45%
Problème lié à vitesse élevée	100%	80%
Problème lié à forte accélération	100%	
Problème en début de production		25%
Lié à vitesse		20%
Lié à accélération		
Problème en milieu de production	25%	20%
Lié à vitesse	25%	12%
Lié à accélération	25%	
Problème en fin de production	20%	
Lié à vitesse	20%	
Lié à accélération	20%	
FORME GRAPHIQUE		
Périodique	65%	60%
Périodique et continue	30%	30%
Périodique et discontinue	20%	20%
Périodique et disjointe	15%	12%
Apériodique et jointe	12%	30%
Nombre de formes graphiques : 1	70%	90%
2	30%	10%
3		
Taille : Grand	35%	20%
Moyen	50%	30%
Petit	5%	3%
Moyenne-petite		20%
Grande-petite		20%
Petite-grande	5%	
- Evolution : Constante	30%	40%
Croissante	70%	3%
Décroissante	3%	12%
- Traitement de l'espace : Aligné	70%	65%
Diffus	30%	20%
Sur place	10%	5%
- Graphisme Joint	90%	80%
Disjoint		
Joint-disjoint		
Disjoint-joint		
Continu	85%	60%
Discontinu		
Continu /arrêt		
Arrêt/continu		
SYNCHRONISATION		
Intention + Sychrone	80%	65%
Intention de synchronisation	60%	35%
Synchrone	20%	30%

Asynchrone		20%
Désynchronisation	20%	10%
Synchronisation		3%
- Un seul élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappe	20%	25%
Élément indéterminé		
Demi-pulsation		
Intensité ou hauteur	20%	20%
1 pulsation sur 2		
- Principal élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappes	80%	60%
Intensité	80%	55%
Élément instable	60% (maxi)	35%
Élément indéterminé		
- Deux éléments de synchronisation :		
Frappe puis intensité	60%	35%
Pulsation puis ½ pulsation		
Frappes puis fréquence de frappes		
Fréquence de frappes puis frappes		
Pulsation puis fréquence de frappes		
Demi-pulsation puis pulsation		

Tableau 95: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R13 et R14

	RYTHME			
GRAPHISME	R15 <i>Accelerando</i>	R16 <i>Rallentando</i>	R17 <i>Cycle accelerando</i>	R18 <i>Cycle rallentando</i>
Nombre de productions analysées sur 33	32	31	32	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	80%	85%	70%	65%
Vitesse élevée	75%	60%	50%	50%
Vitesse irrégulière	3%	5%	15%	5%
Accélération	90%		70%	10%
Décélération	5%	90%		85%
Problème de mesure de vitesse	55%	50%	45%	35%
Problème lié à vitesse élevée	50%	50%	30%	30%
Problème lié à forte accélération	50%		30%	5%
Problème en début de production	30%	60%	30%	30%
Lié à vitesse	15%	40%	25%	25%
Lié à accélération	10%		20%	3%
Problème en milieu de production	10%	5%	10%	3%
Lié à vitesse	10%	5%	3%	3%
Lié à accélération	10%		5%	3%
Problème en fin de production	30%	3%	3%	
Lié à vitesse	25%		3%	
Lié à accélération	30%		3%	
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	55%	65%	55%	55%
Périodique et continue	25%	25%	35%	45%
Périodique et discontinue	12%	30%	20%	10%
Périodique et disjointe	15%	5%		
Apériodique et jointe	15%	10%	12%	20%
Nombre de formes graphiques : 1	70%	75%	70%	80%
2	25%	20%	30%	20%
3	3%	3%	3%	3%
Taille : Grand	40%	60%	35%	40%
Moyen	50%	40%	55%	50%
Petit	5%	3%	10%	5%
Moyenne-petite				
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	30%	50%	60%	35%
Croissante	45%	5%	40%	5%
Décroissante	20%	40%		50%
- Traitement de l'espace : Aligné	65%	55%	75%	75%
Diffus	20%	35%	5%	20%
Sur place	5%	10%	15%	5%
- Graphisme Joint	80%	75%	90%	95%
Disjoint	20%	5%	3%	
Joint-disjoint		12%	3%	3%
Disjoint-joint				
Continu	75%	50%	95%	80%
Discontinu	3%	12%	5%	10%
Continu /arrêt	3%	35%		10%
Arrêt/continu	20%			
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchrone	70%	80%	65%	75%
Intention de synchronisation	65%	75%	45%	60%
Synchrone	3%	3%	20%	15%

Asynchrone	3%		3%	10%
Désynchronisation	20%	5%	30%	5%
Synchronisation	10%	15%	3%	5%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation			60%	35%
Frappe	55%	60%	5%	3%
Élément indéterminé				
Demi-pulsation			5%	3%
Intensité ou hauteur				
1 pulsation sur 2			3%	3%
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation			85%	80%
Frappes	95%	100%	5%	20%
Intensité				
Élément instable	25%	30%	10%	35%
Élément indéterminé				
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation				3%
Frappes puis fréquence de frappes	25%	3%		
Fréquence de frappes puis frappes		25%		
Pulsation puis fréquence de frappes			3%	5%
Demi-pulsation puis pulsation			5%	10%

Tableau 96: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R15 à R18

	RYTHME		
GRAPHISME	R19 Retard final	R20 Syncope	R21 Cycle tronqué
Nombre de productions analysées sur 33	31	33	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE			
Patterns cinétiques	70%	70%	45%
Vitesse élevée	55%	20%	13%
Vitesse irrégulière	13%	30%	60%
Accélération	3%	5%	3%
Décélération	55%		
Problème de mesure de vitesse	40%	45%	35%
Problème lié à vitesse élevée	40%	15%	10%
Problème lié à forte accélération	3%		
Problème en début de production	40%	20%	15%
Lié à vitesse	3%	10%	3%
Lié à accélération	3%		
Problème en milieu de production	3%	15%	5%
Lié à vitesse		3%	
Lié à accélération			
Problème en fin de production		10%	10%
Lié à vitesse		3%	5%
Lié à accélération			
FORME GRAPHIQUE			
Périodique	55%	70%	50%
Périodique et continue	40%	35%	20%
Périodique et discontinue	15%	30%	25%
Périodique et disjointe		3%	3%
Apériodique et jointe	25%	10%	20%
Nombre de formes graphiques : 1	80%	75%	70%
2	15%	20%	25%
3	3%	5%	
Taille : Grand	35%	40%	45%
Moyen	60%	55%	50%
Petit		5%	5%
Moyenne-petite			
Grande-petite			
Petite-grande			
- Evolution : Constante	80%	90%	90%
Croissante	5%	10%	12%
Décroissante	5%		
- Traitement de l'espace : Aligné	70%	85%	70%
Diffus	20%	15%	25%
Sur place	10%		3%
- Graphisme Joint	80%	90%	90%
Disjoint	10%	3%	10%
Joint-disjoint	5%		
Disjoint-joint			
Continu	70%	35%	40%
Discontinu	5%	50%	45%
Continu /arrêt	15% (fin)	10%	10%
Arrêt/continu	5%	10%	5%
SYNCHRONISATION			
Intention + Synchrone	75%	60%	40%
Intention de synchronisation	60%	50%	30%
Synchrone	13%	10%	10%
Asynchrone	13%	25%	30%

Désynchronisation	20%	5%	12%
Synchronisation	5%	10%	15%
- Un seul élément de synchronisation :			
Pulsation	15%	20%	12%
Frappe	13%	30%	50%
Elément indéterminé	3%		
Demi-pulsation	15%	10%	5%
Intensité ou hauteur			
1 pulsation sur 2	3%		
- Principal élément de synchronisation :			
Pulsation	70%	45%	25%
Frappes	13%	40%	55%
Intensité			
Elément instable	15%	10%	
Elément indéterminé	3%	3%	
- Deux éléments de synchronisation :			
Frappe puis intensité			
Pulsation puis ½ pulsation		3%	
Frappes puis fréquence de frappes			
Fréquence de frappes puis frappes			
Pulsation puis fréquence de frappes	3%		
Demi-pulsation puis pulsation			

Tableau 97: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R19 à R21

	RYTHME		
GRAPHISME	R22 Cycle enrichi	R23 Cycle épuré	R24 2 tempi (70-140 bpm)
Nombre de productions analysées sur 33	33	31	30
DYNAMIQUE GRAPHIQUE			
Patterns cinétiques	65%	60%	90%
Vitesse élevée	30%	50%	85%
Vitesse irrégulière	30%	25%	10%
Accélération	65%	5%	90%
Décélération		80%	
Problème de mesure de vitesse	30%	40%	55%
Problème lié à vitesse élevée	10%	35%	55%
Problème lié à forte accélération	25%	3%	50%
Problème en début de production	15%	20%	25%
Lié à vitesse	3%	20%	25%
Lié à accélération	10%		25%
Problème en milieu de production	3%	10%	20%
Lié à vitesse		5%	20%
Lié à accélération			20%
Problème en fin de production	15%	10%	10%
Lié à vitesse	2%	2%	2%
Lié à accélération	15%	1%	2%
FORME GRAPHIQUE			
Périodique	35%	40%	25%
Périodique et continue	20%	30%	20%
Périodique et discontinue	15%	10%	3%
Périodique et disjointe			3%
Apériodique et jointe	10%	10%	25%
Nombre de formes graphiques : 1	50%	50%	50%
2	40%	30%	15%
3	5%	20%	35%
Taille : Grand	50%	60%	50%
Moyen	50%	35%	40%
Petit	3%	3%	5%
Moyenne-petite			
Grande-petite			
Petite-grande			
- Evolution : Constante	80%	60%	40%
Croissante	20%	3%	50%
Décroissante	3%	35%	5%
- Traitement de l'espace : Aligné	70%	60%	50%
Diffus	25%	30%	35%
Sur place	3%	10%	10%
- Graphisme Joint	90%	65%	85%
Disjoint	12%	10%	3%
Joint-disjoint			
Disjoint-joint			
Continu	20%	45%	50%
Discontinu	45%	3%	
Continu /arrêt	3%	50%	3%
Arrêt/continu	30%		45%
SYNCHRONISATION			
Intention + Synchrone	80%	65%	75%
Intention de synchronisation	70%	60%	65%
Synchrone	10%	5%	10%
Asynchrone	10%	5%	10%

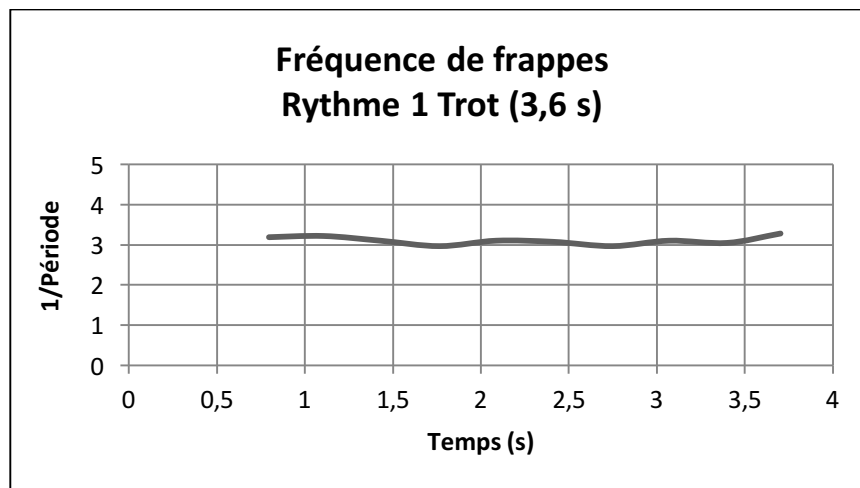
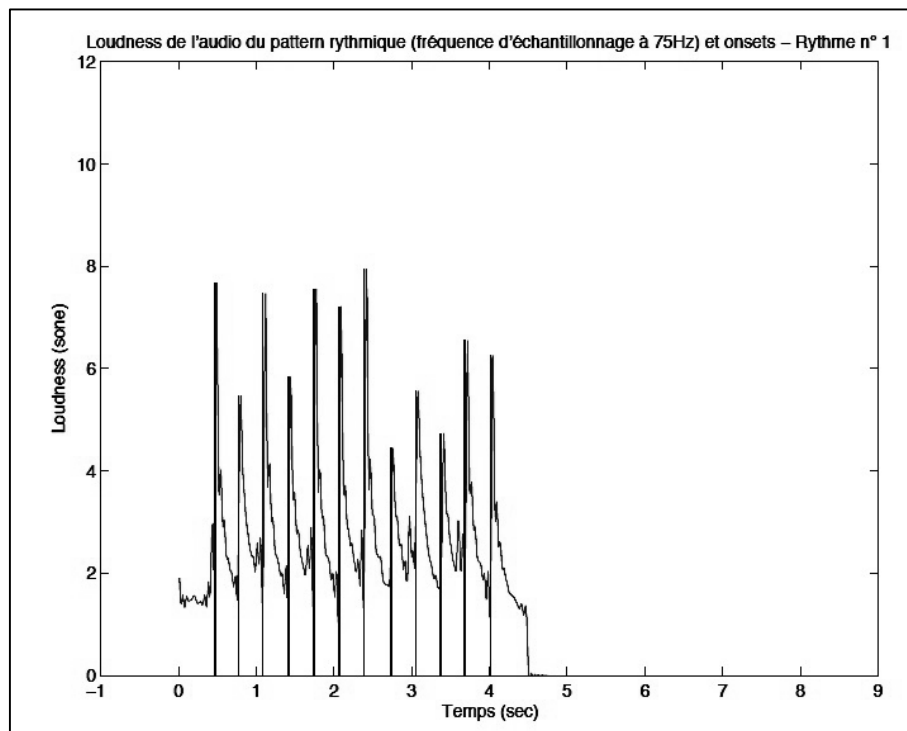
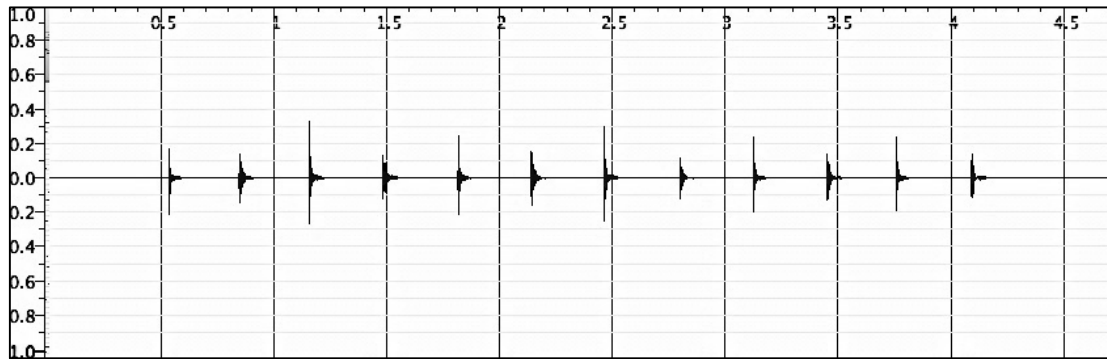
Désynchronisation	3%	20%	3%
Synchronisation	3%	3%	10%
- Un seul élément de synchronisation :			
Pulsation	20%	12%	35%
Frappe	3%		3%
Elément indéterminé	10%	3%	
Demi-pulsation	15%	25%	3%
Intensité ou hauteur			
1 pulsation sur 2			
- Principal élément de synchronisation :			
Pulsation	70%	70%	90%
Frappes	35%	35%	15%
Intensité			
Elément instable	45%	45%	45%
Elément indéterminé		3%	
- Deux éléments de synchronisation :			
Frappe puis intensité			
Pulsation puis ½ pulsation	5%	3%	15%
Frappes puis fréquence de frappes	10%		3%
Fréquence de frappes puis frappes		12%	
Pulsation puis fréquence de frappes	15%		10%
Demi-pulsation puis pulsation		3%	5%

Tableau 98: Résultats quantifiés des propriétés graphiques selon les rythmes R22 à R24

2 Annexe II : Sonagramme, profil d'intensité et profil de fréquence de frappes par rythme

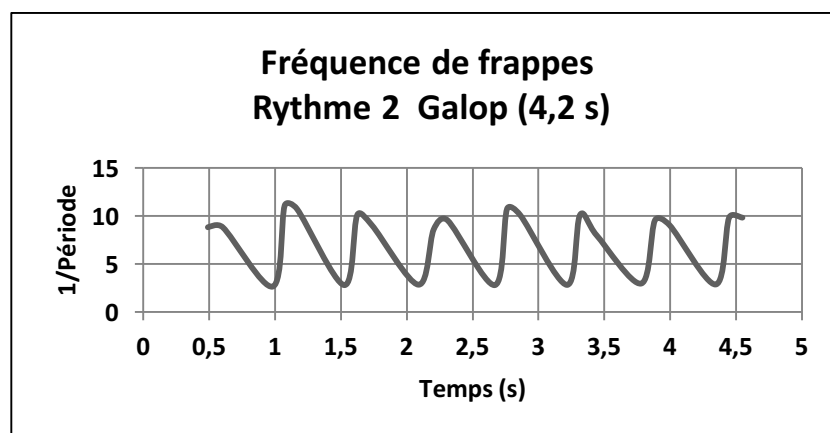
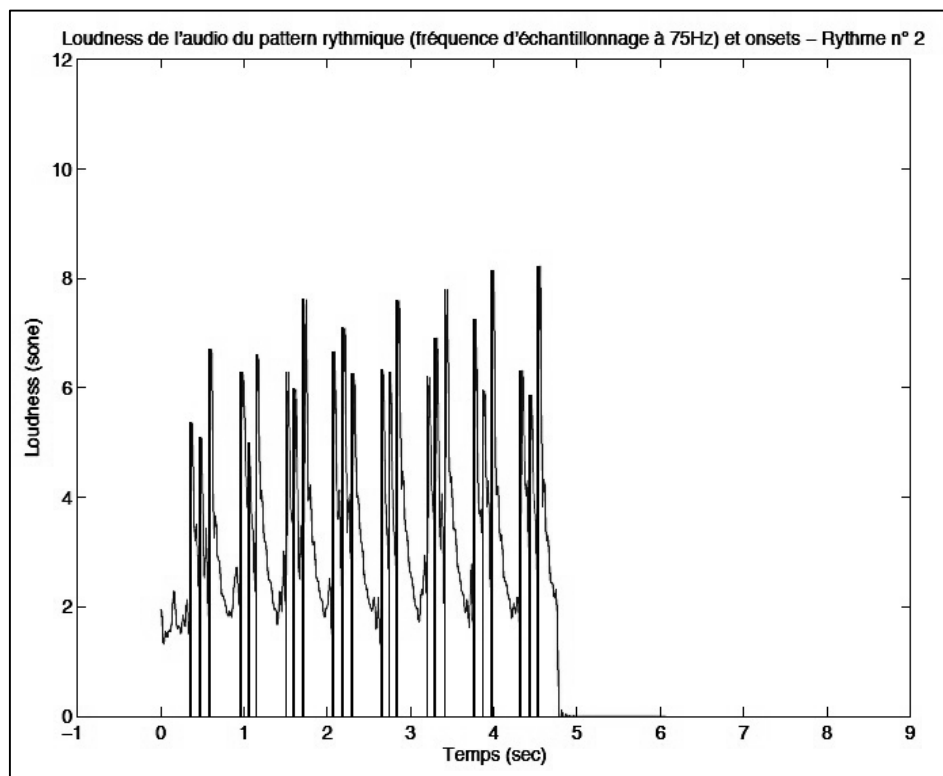
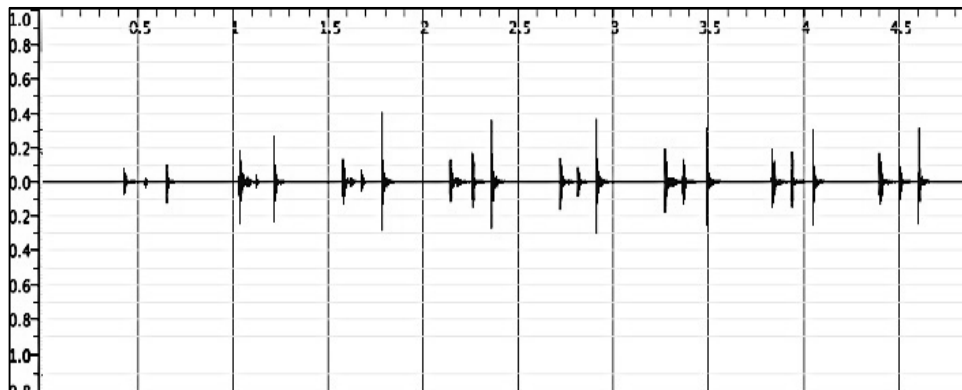
RYTHME 1 : TROT

Sonagramme (fréquence (Hz) en fonction du temps (s))



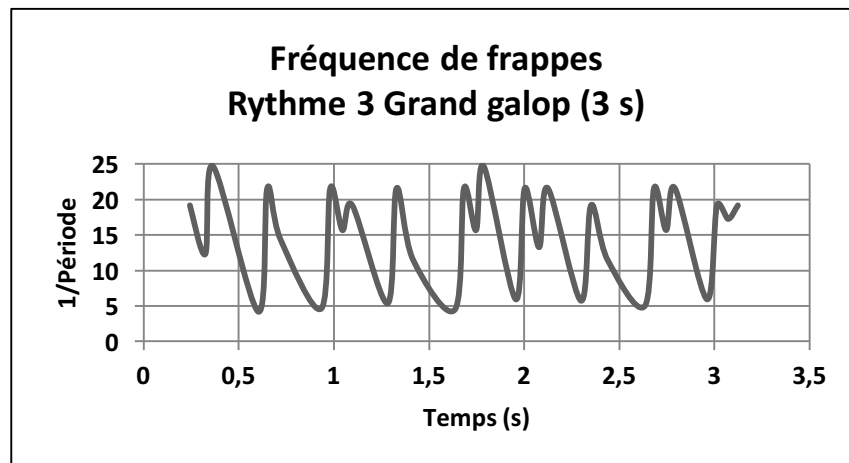
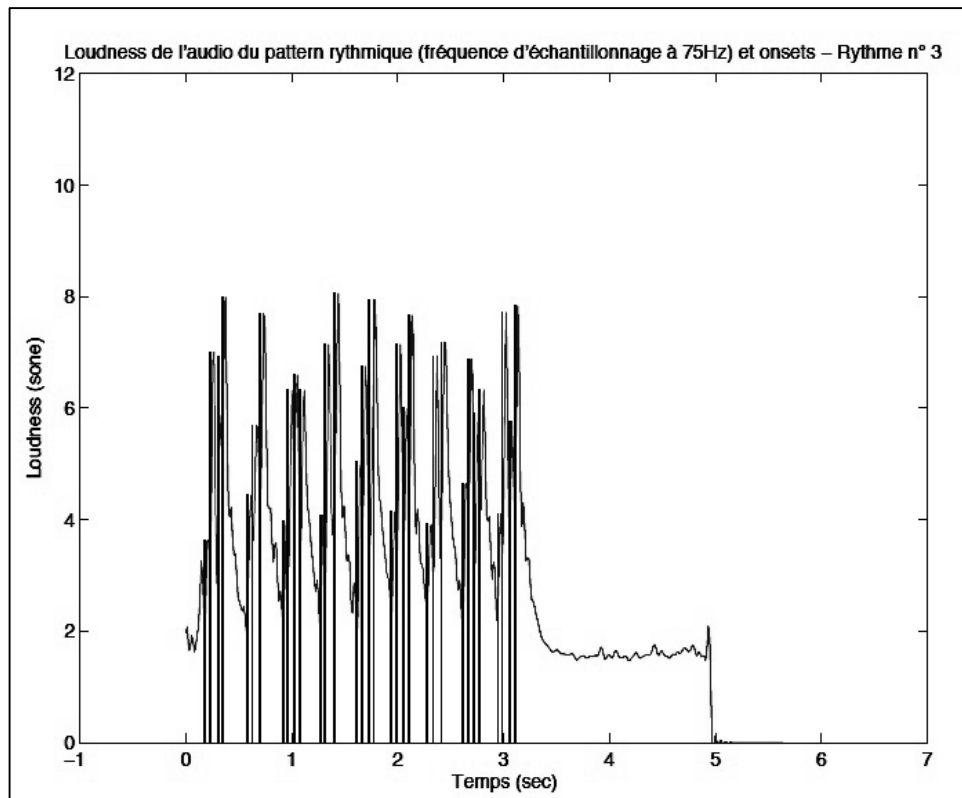
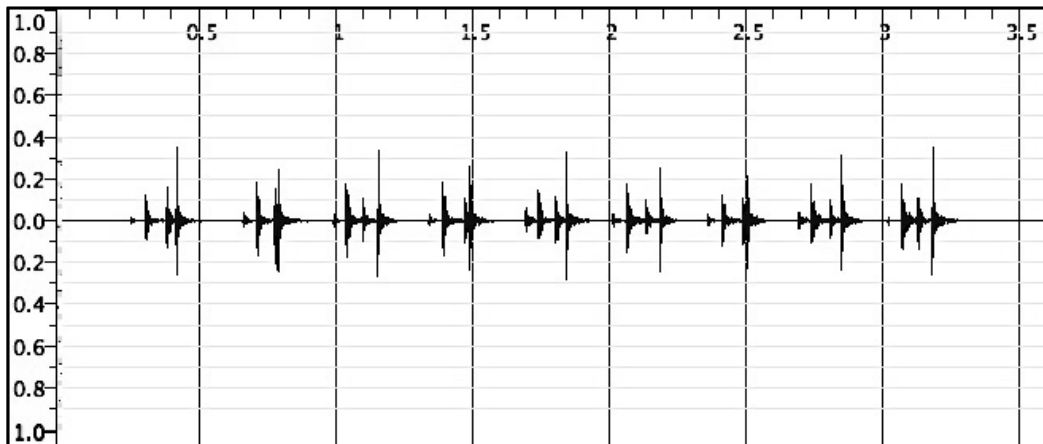
RYTHME 2 : GALOP

Sonagramme



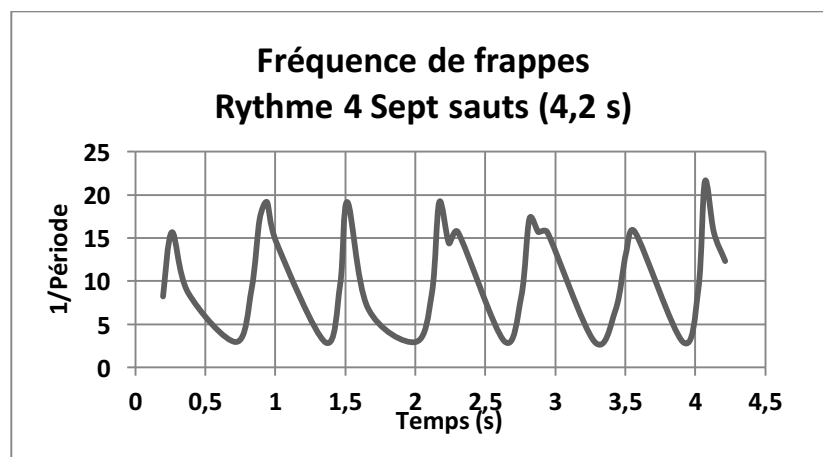
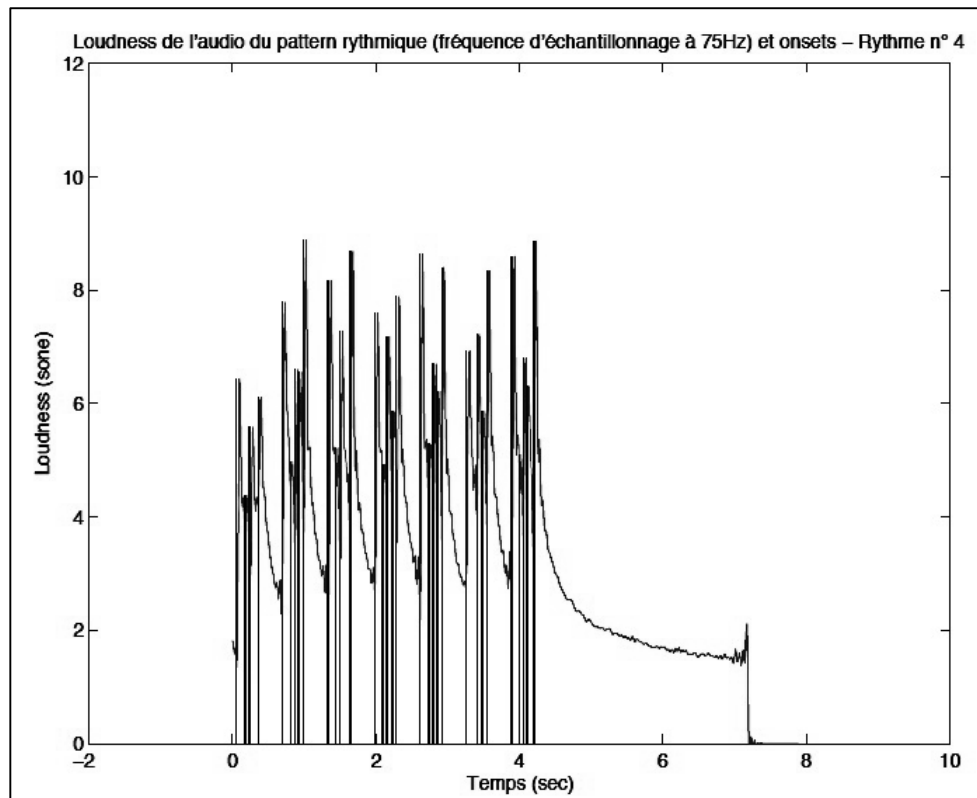
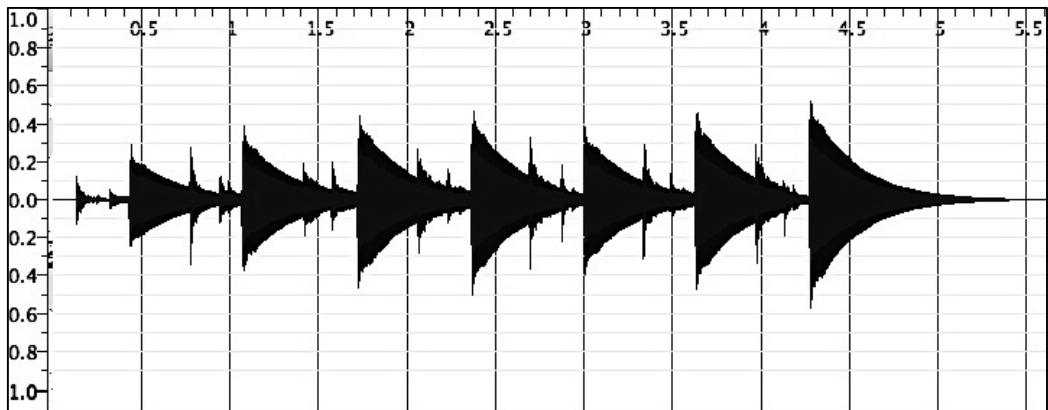
RYTHME 3 : GRAND GALOP

Sonagramme



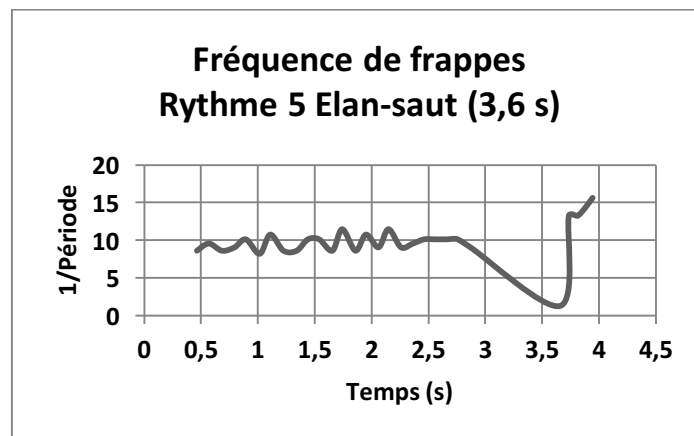
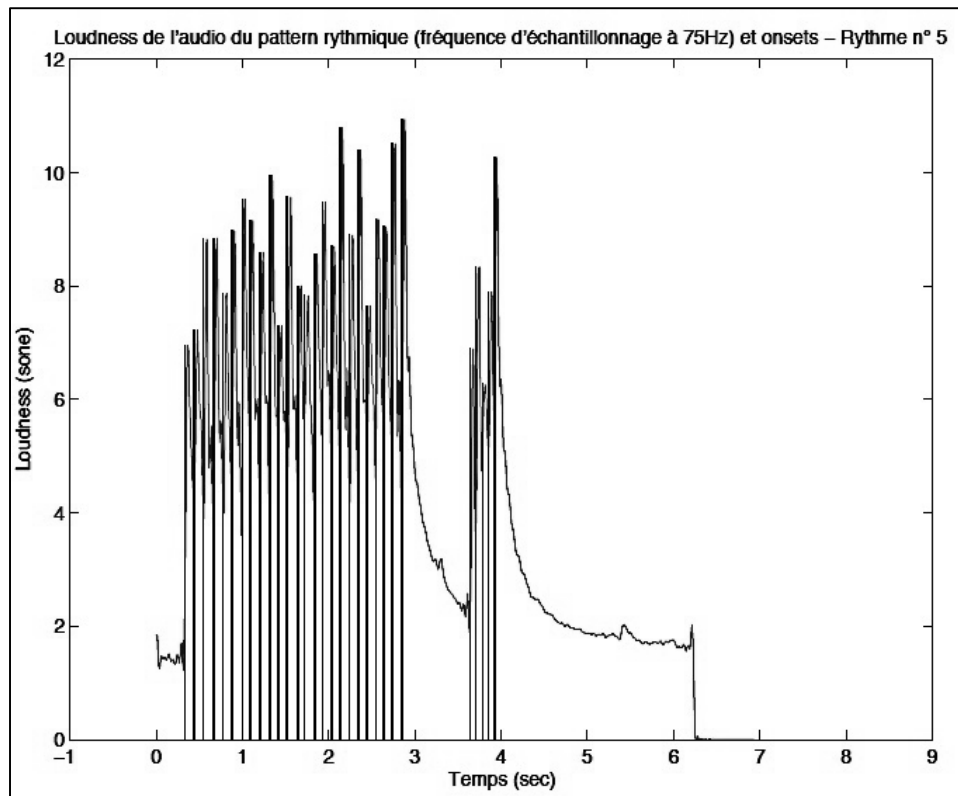
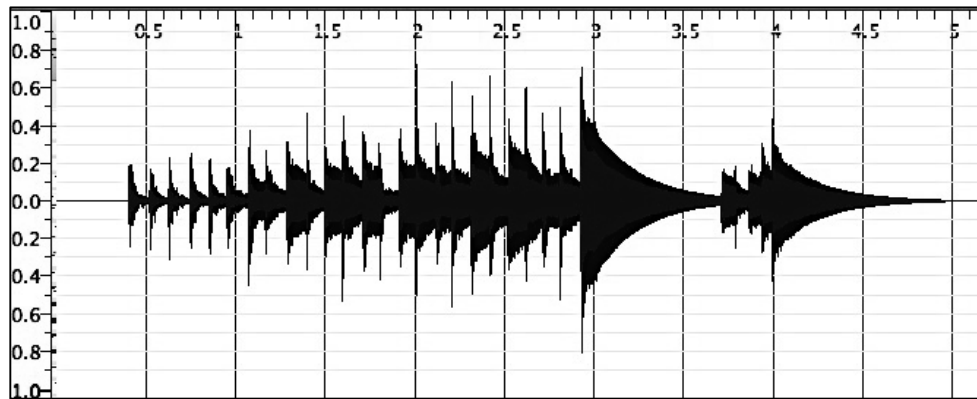
RYTHME 4 : SEPT SAUTS

Sonagramme



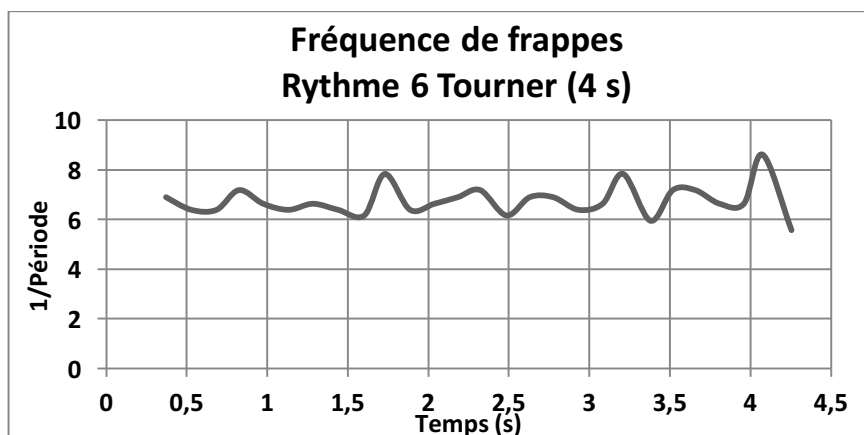
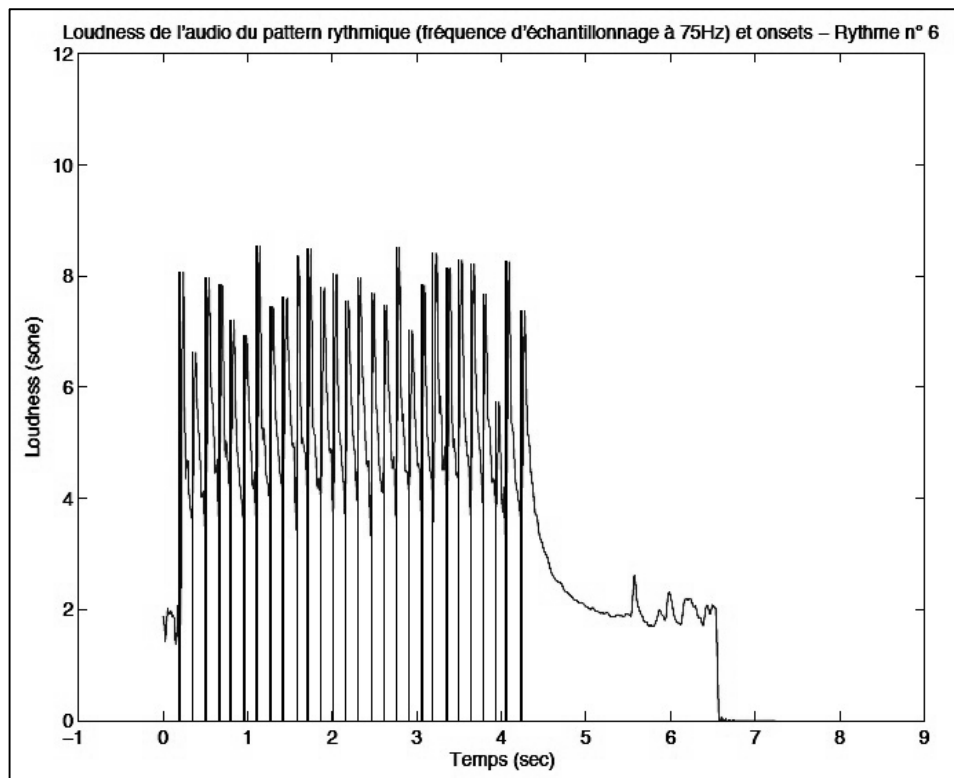
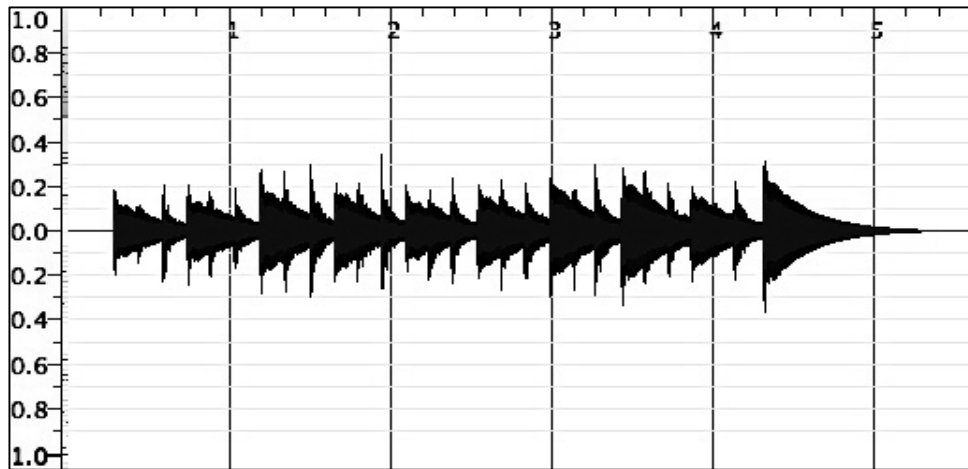
RYTHME 5 : ÉLAN-SAUT

Sonagramme



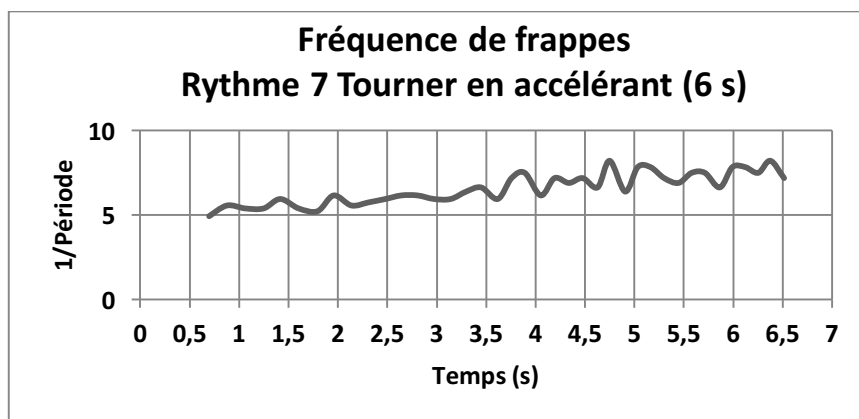
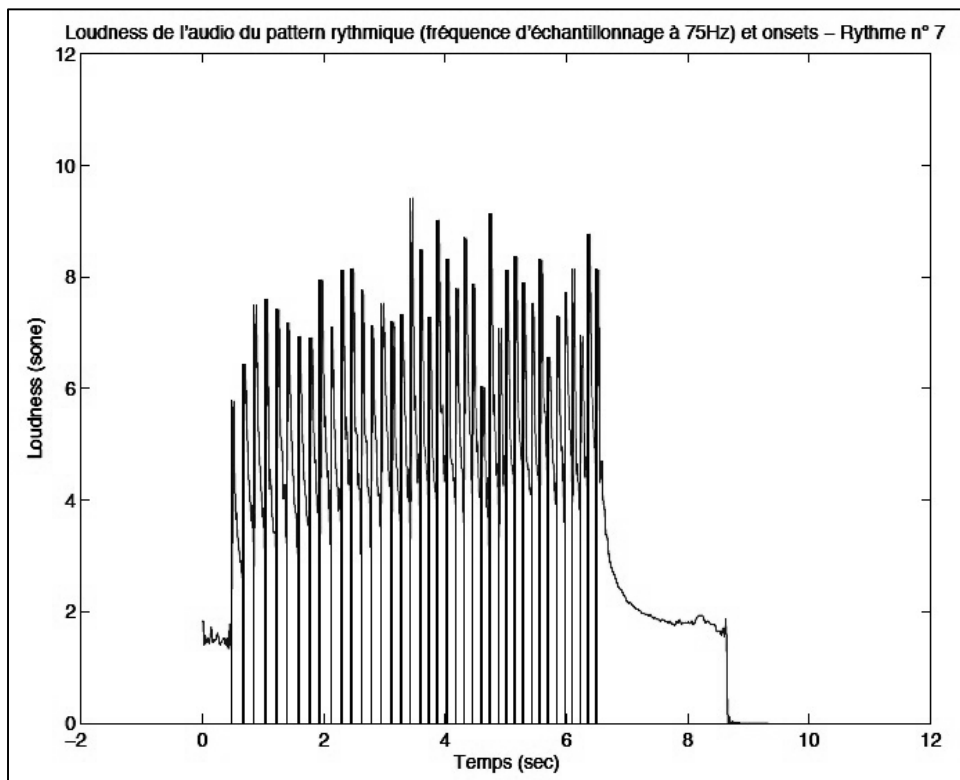
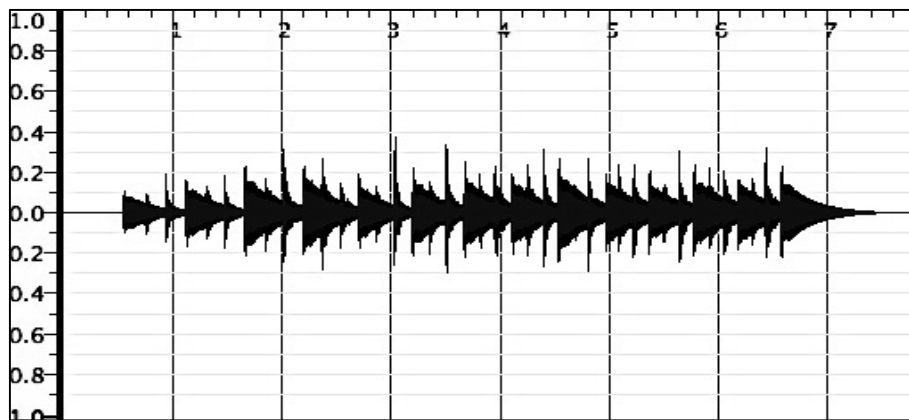
RYTHME 6 : TOURNER

Sonagramme



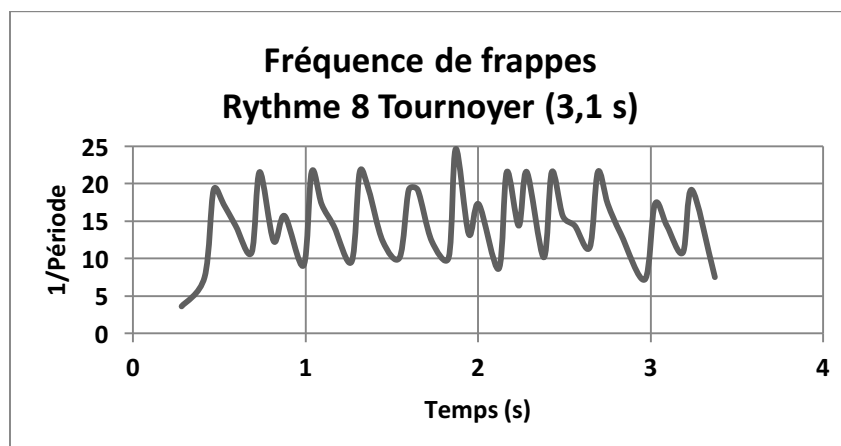
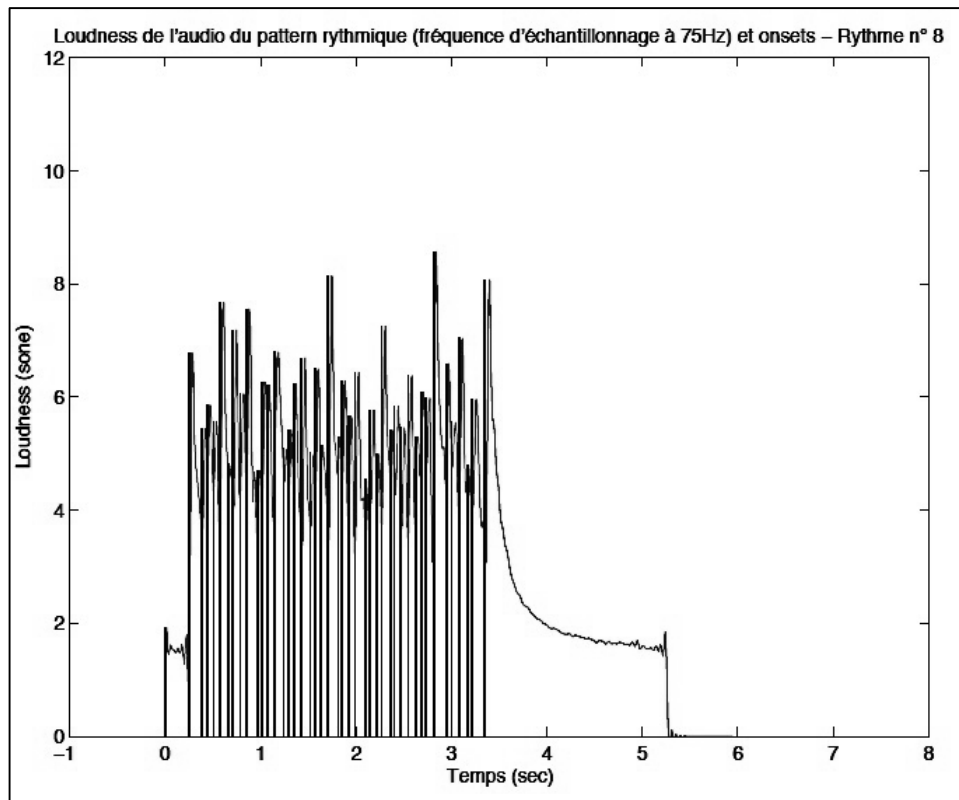
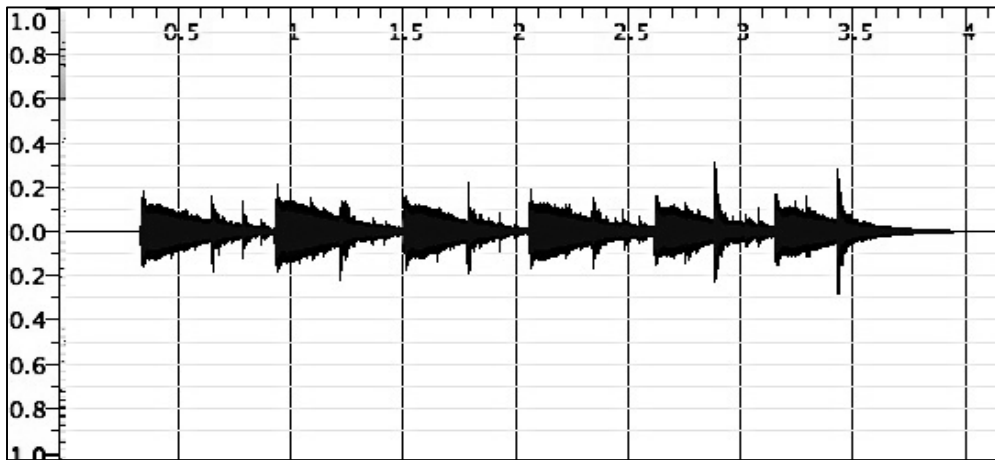
RYTHME 7 : TOURNER EN ACCÉLÉRANT

Sonagramme



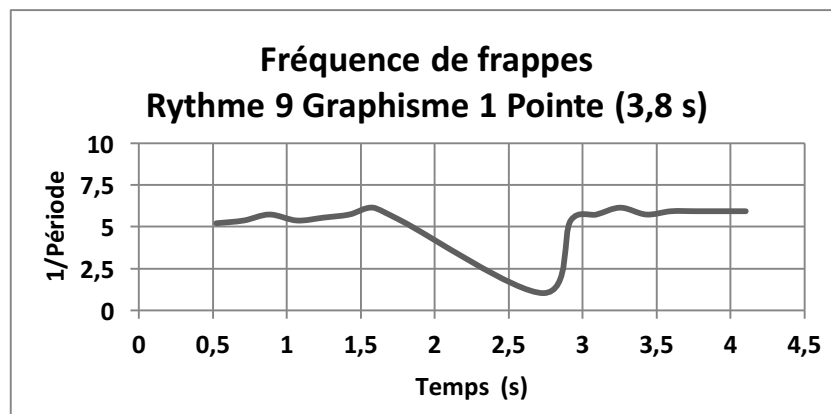
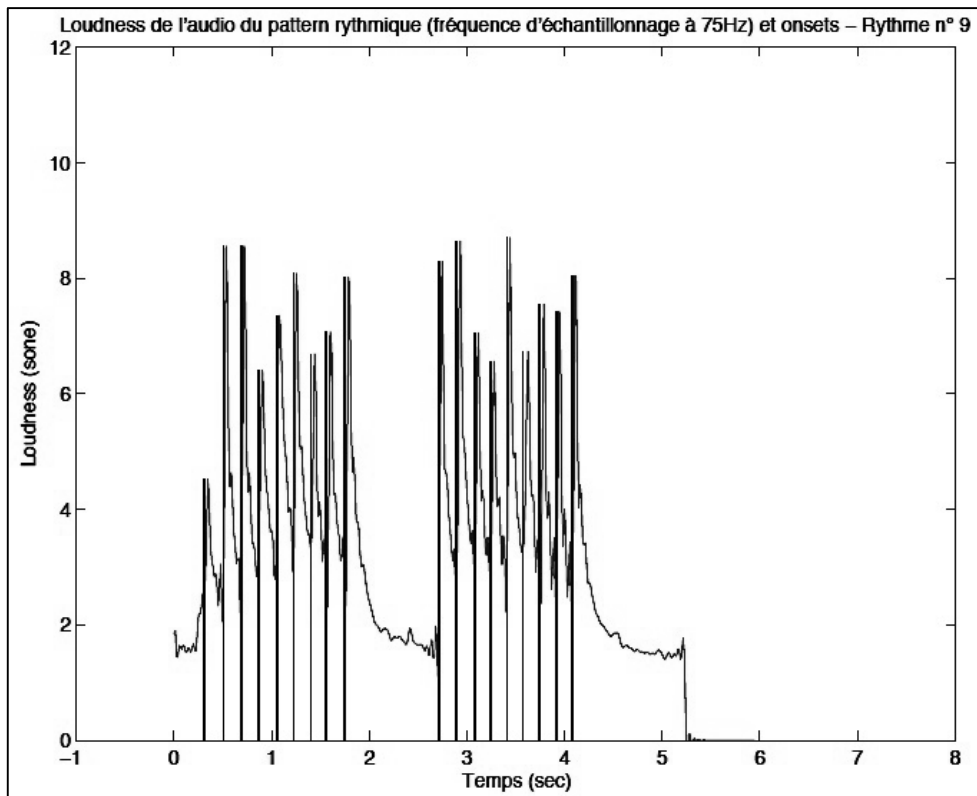
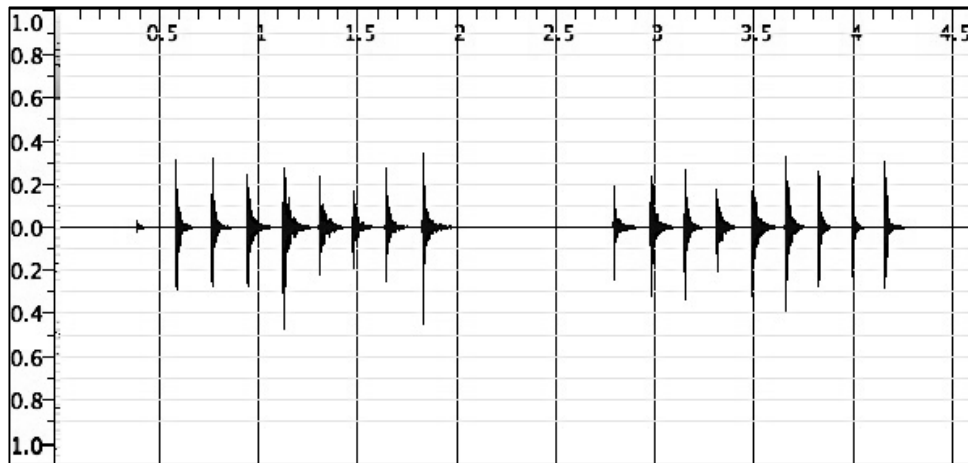
RYTHME 8 : TOURNOYER

Sonagramme



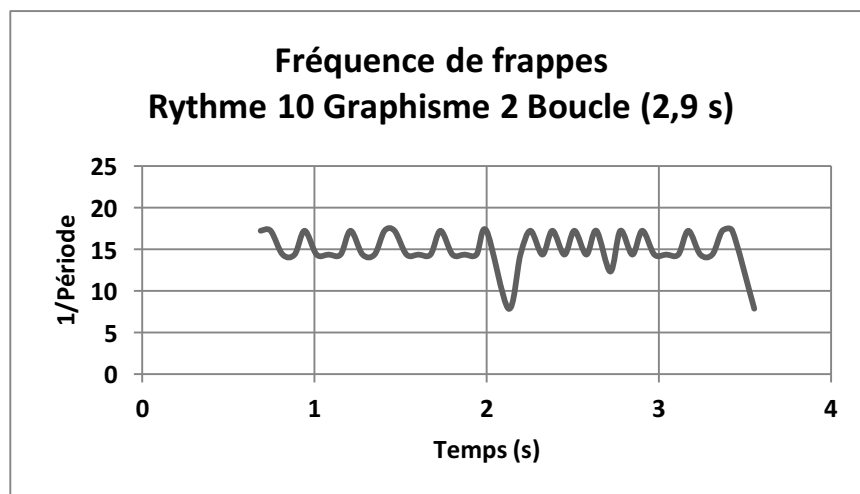
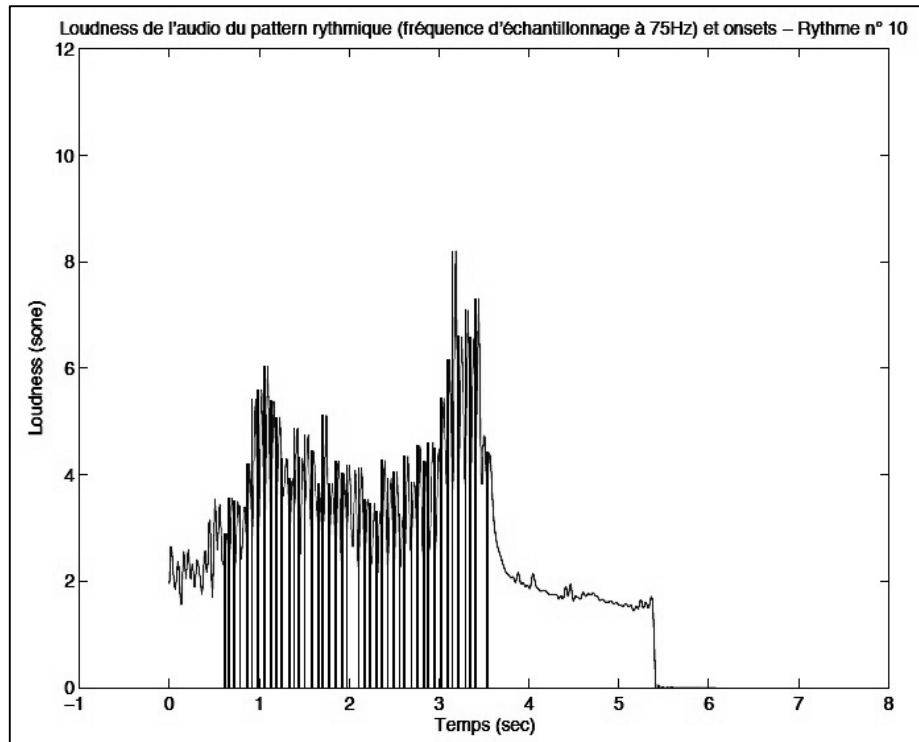
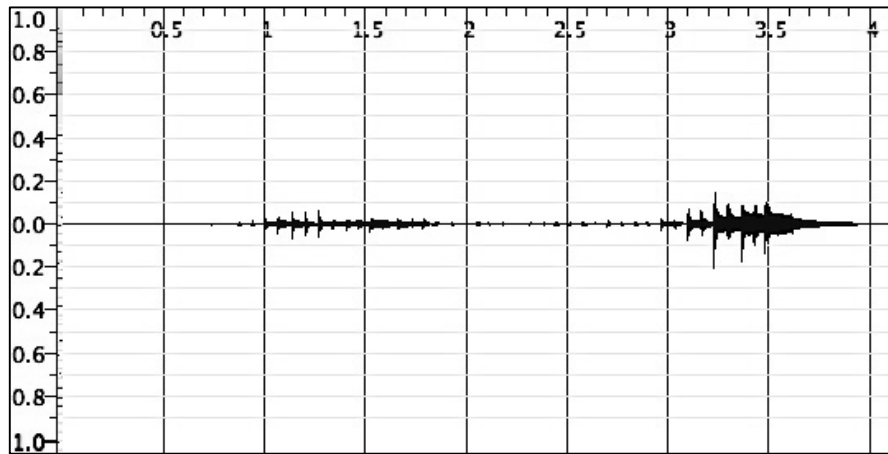
RYTHME 9 : GRAPHISME 1 POINTE

Sonagramme



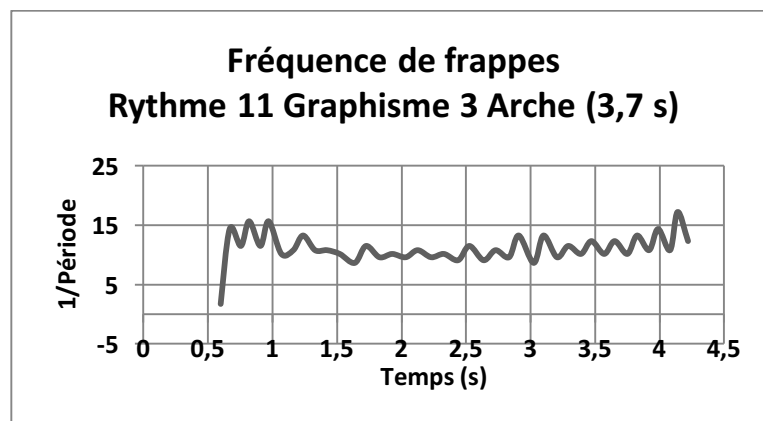
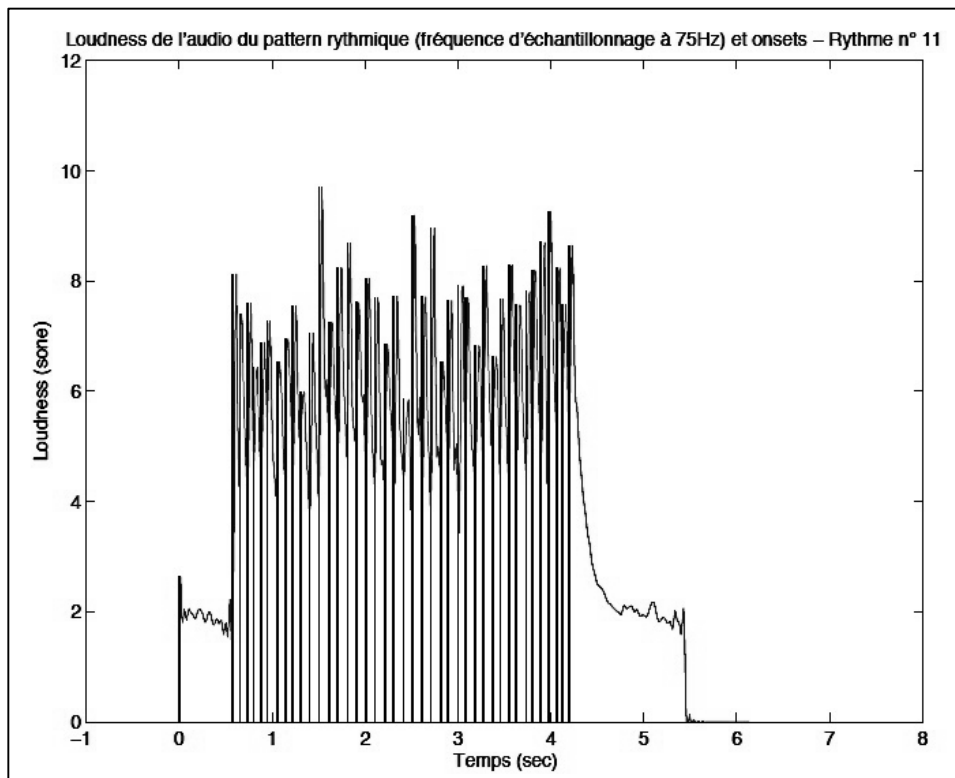
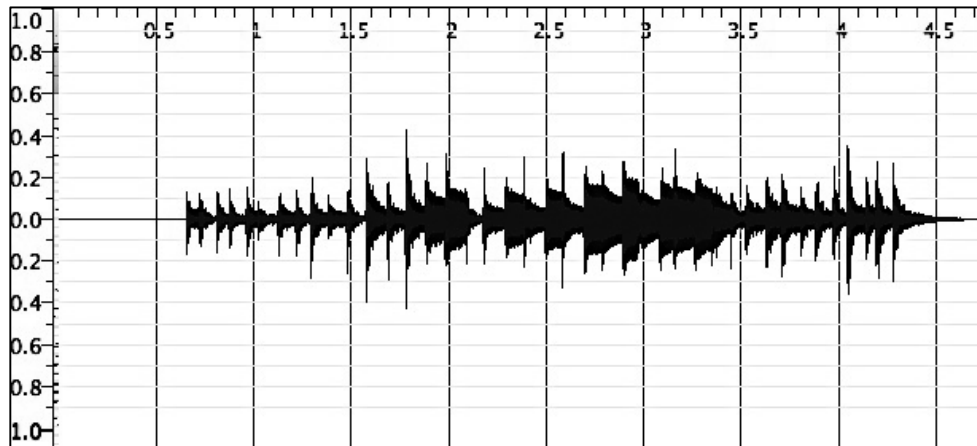
RYTHME 10 : GRAPHISME 2 BOUCLE

Sonagramme



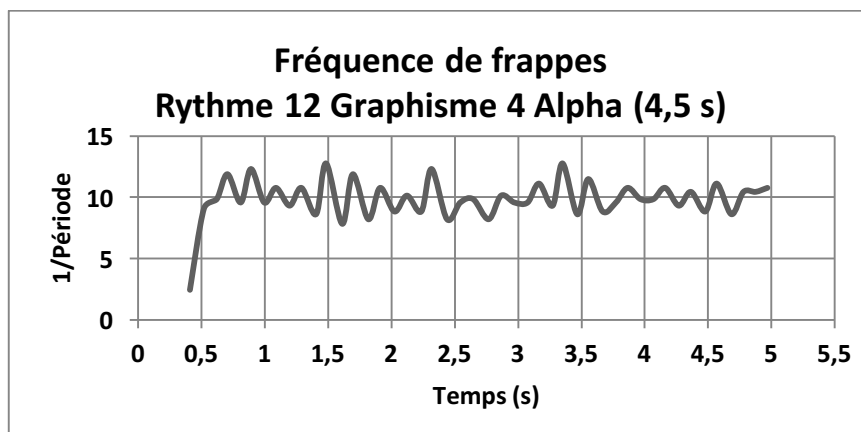
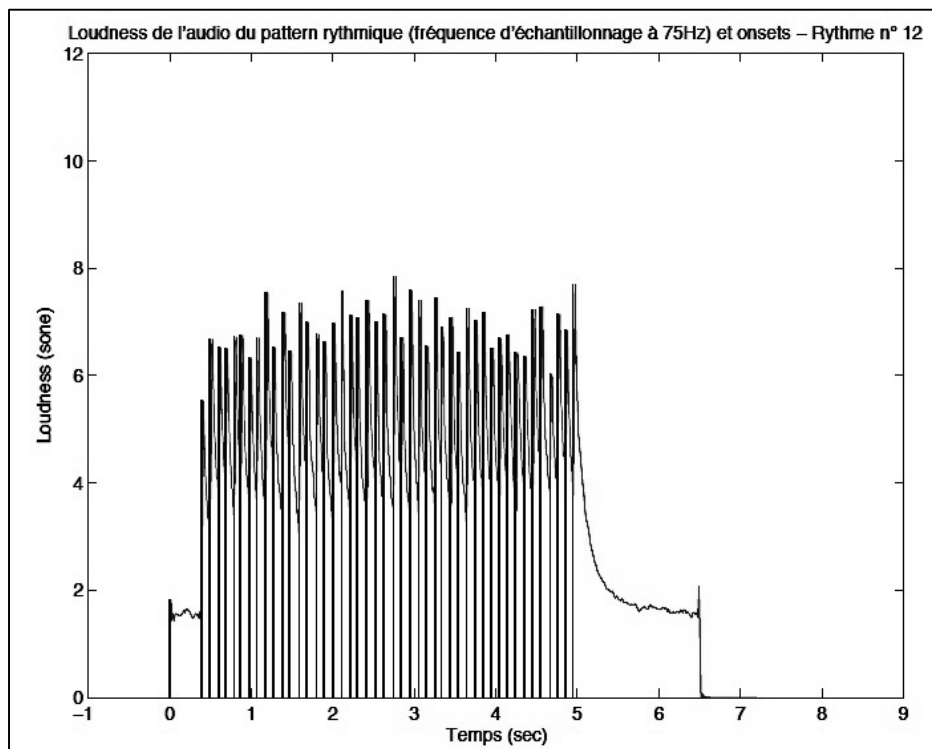
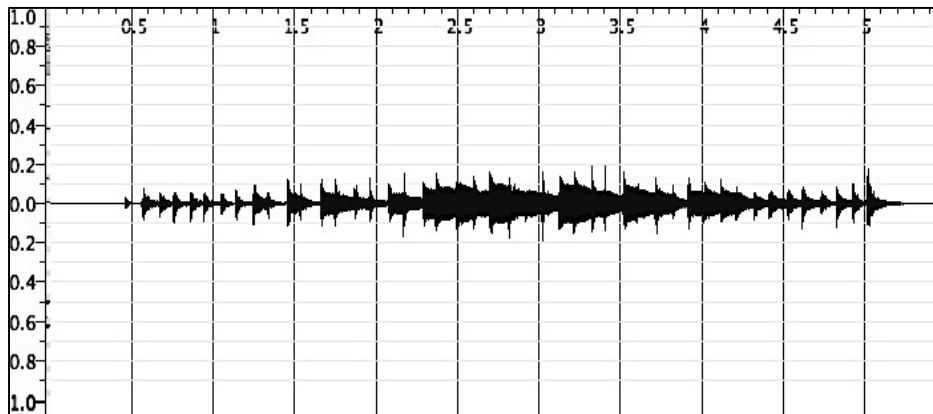
RYTHME 11 : GRAPHISME 3 ARCHE

Sonagramme



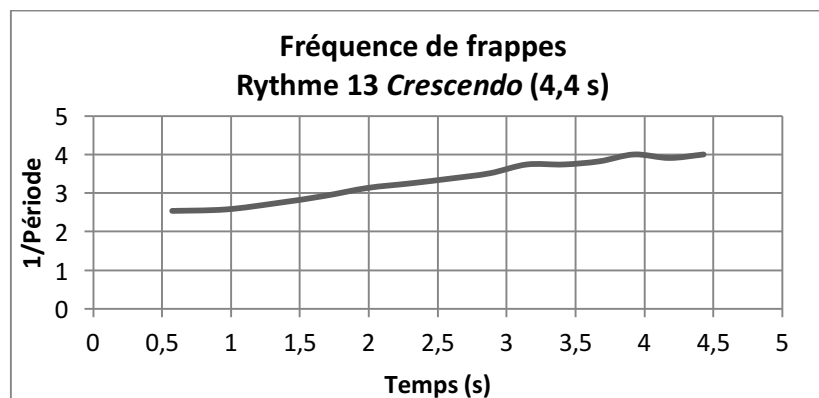
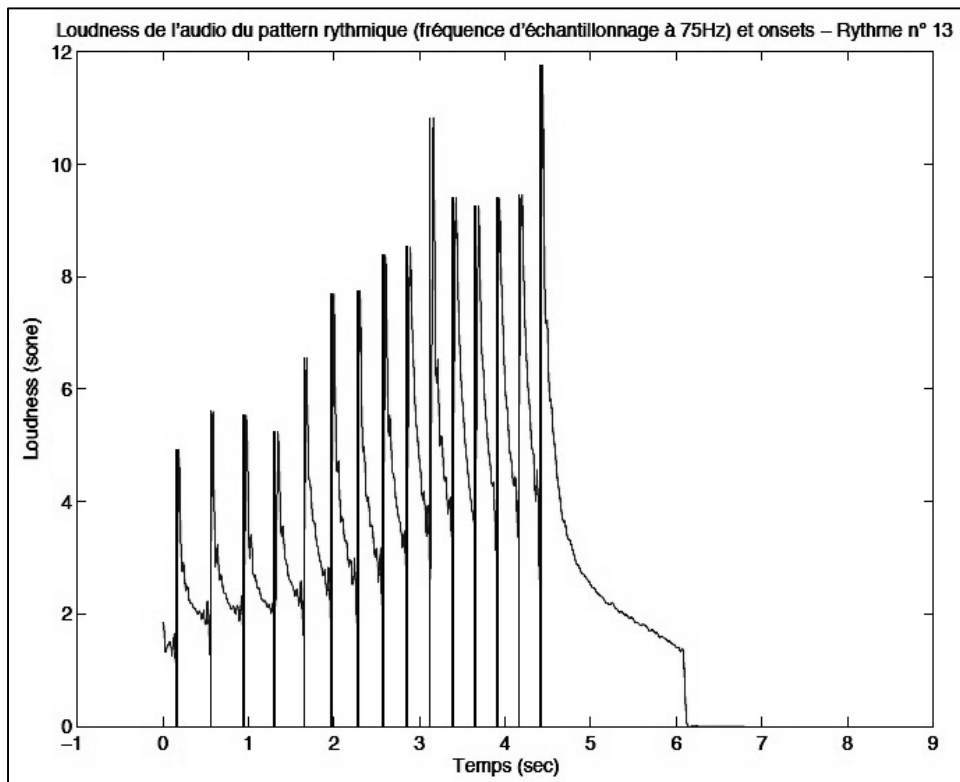
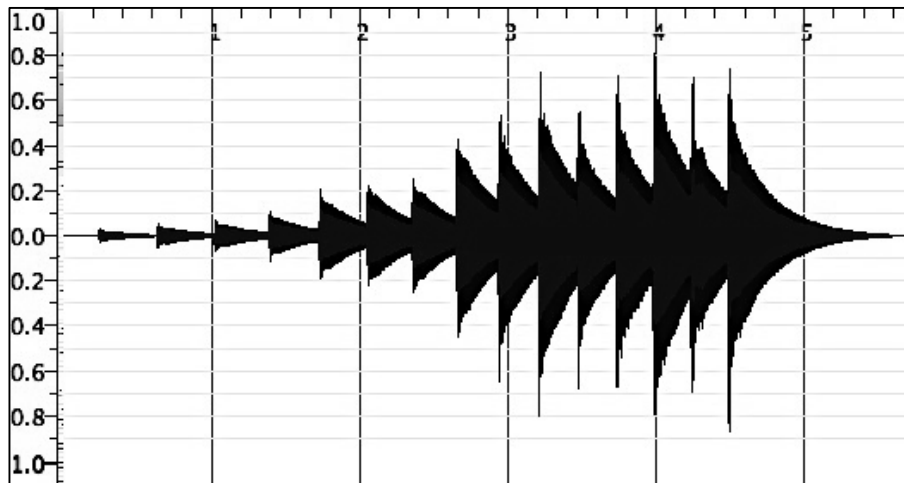
RYTHME 12 : GRAPHISME 4 ALPHA

Sonagramme



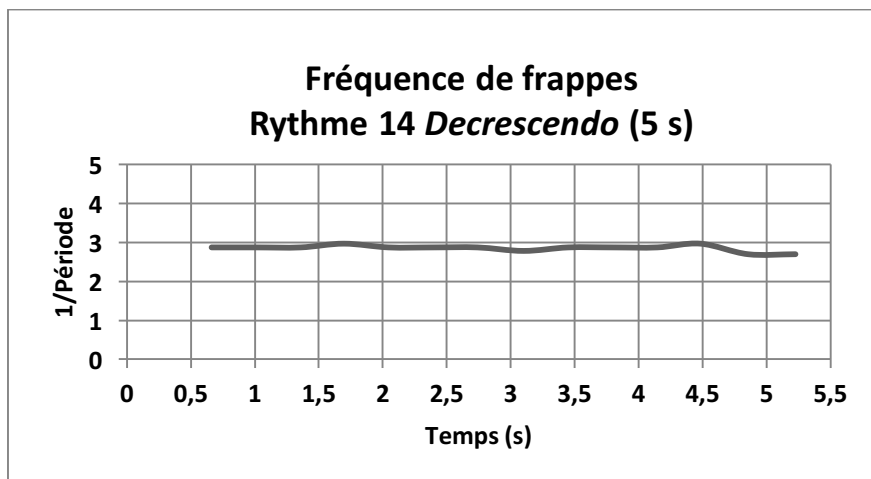
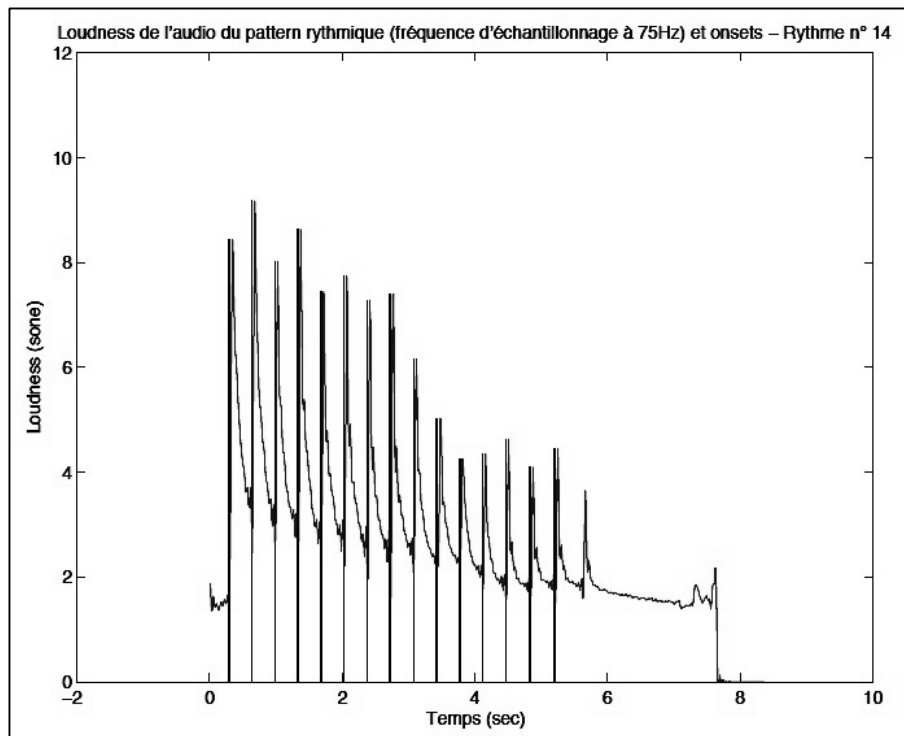
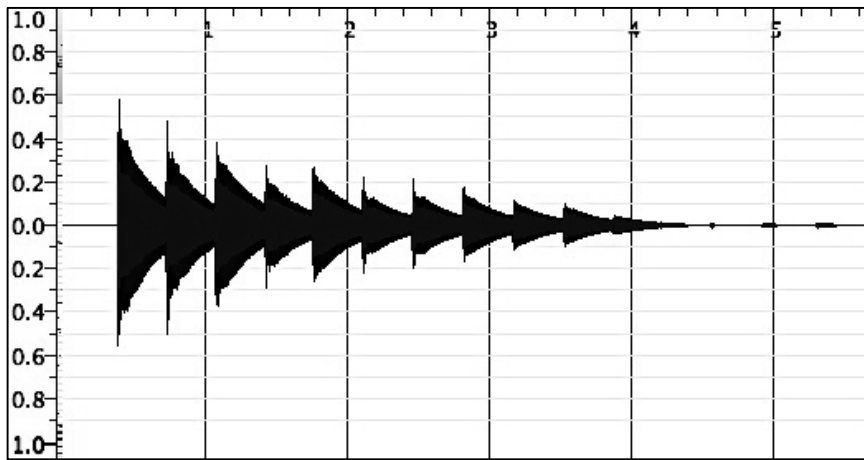
RYTHME 13 : CRESCENDO

Sonagramme



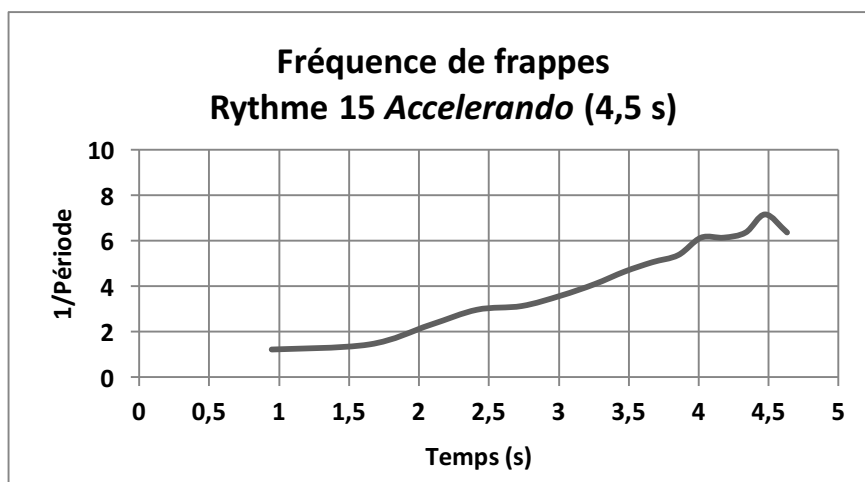
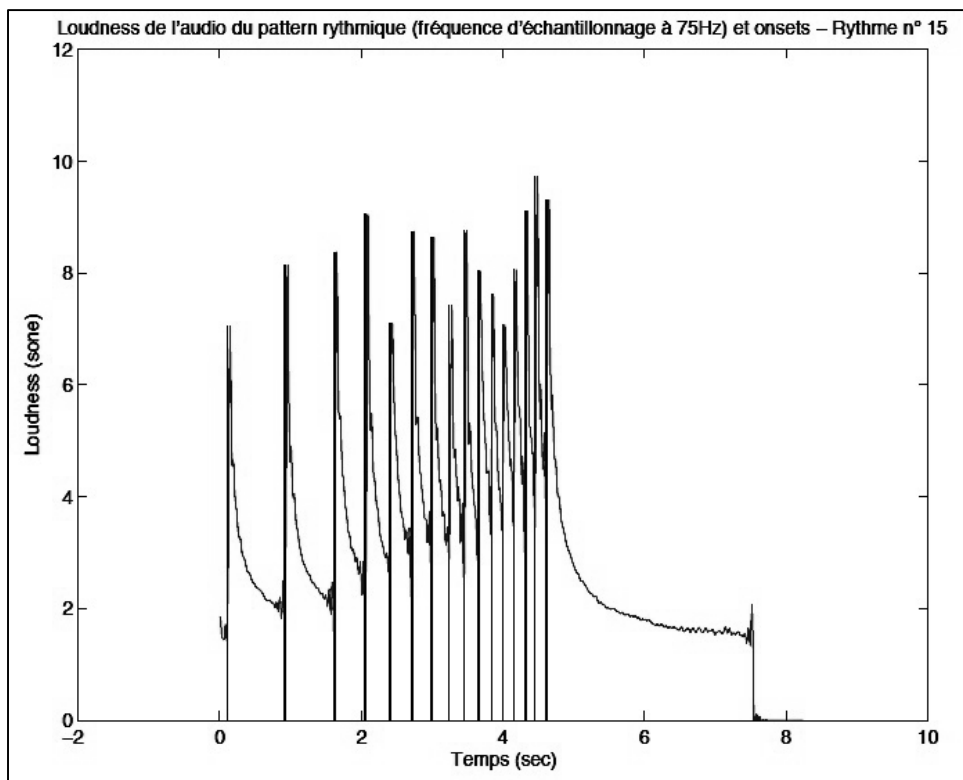
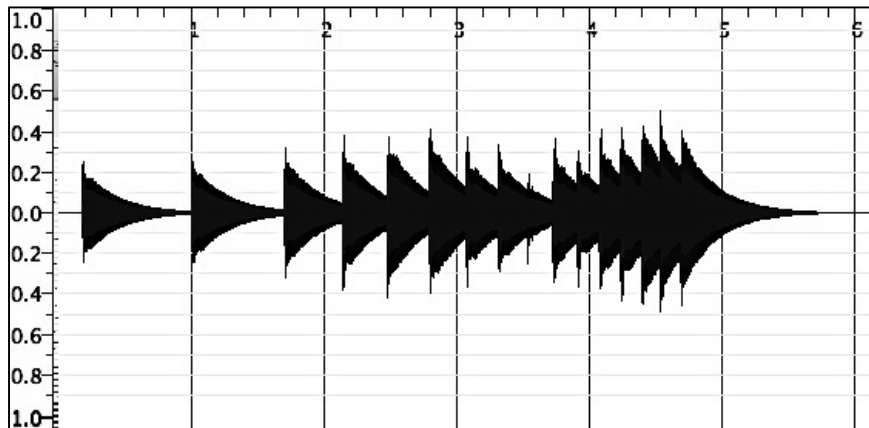
RYTHME 14 : *DECRESCENDO*

Sonagramme



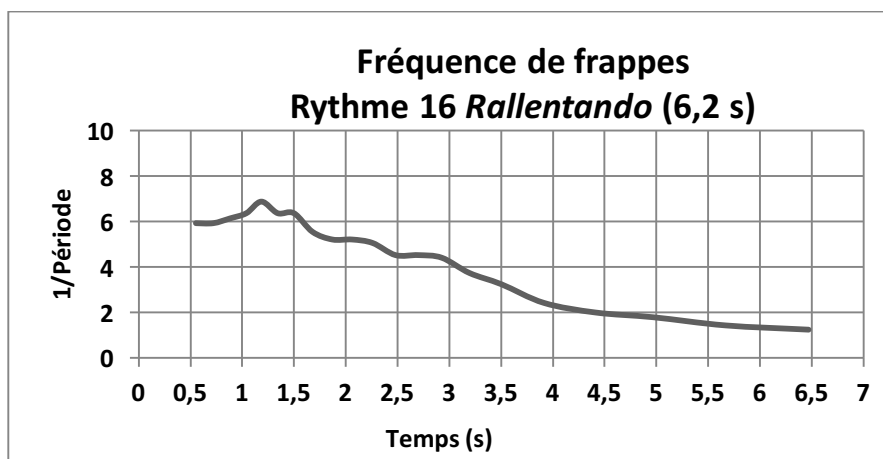
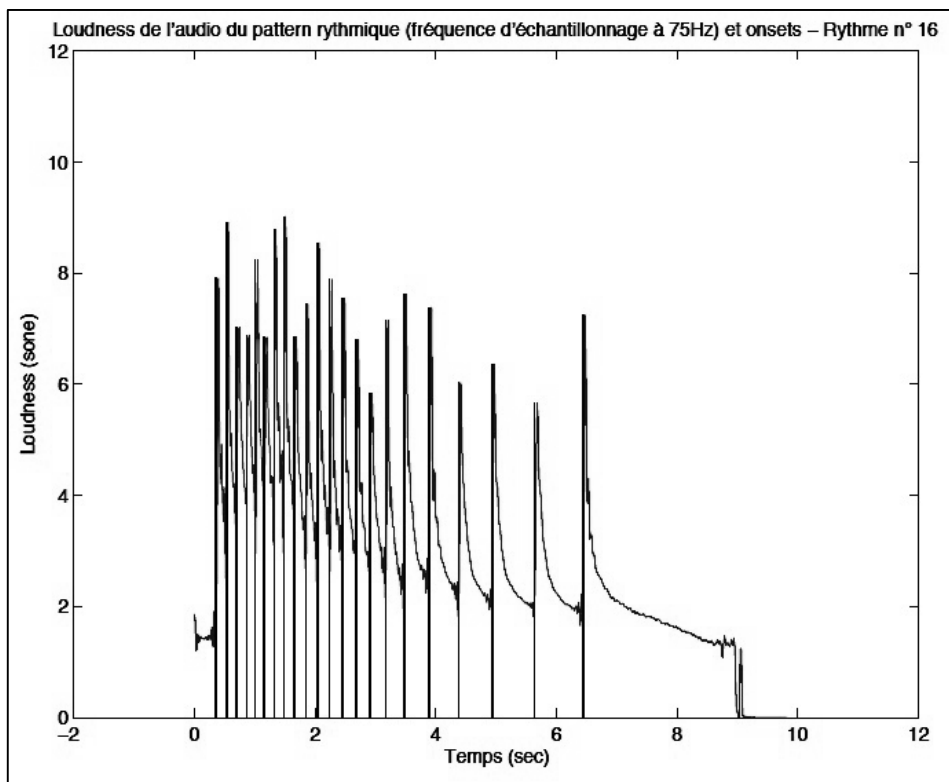
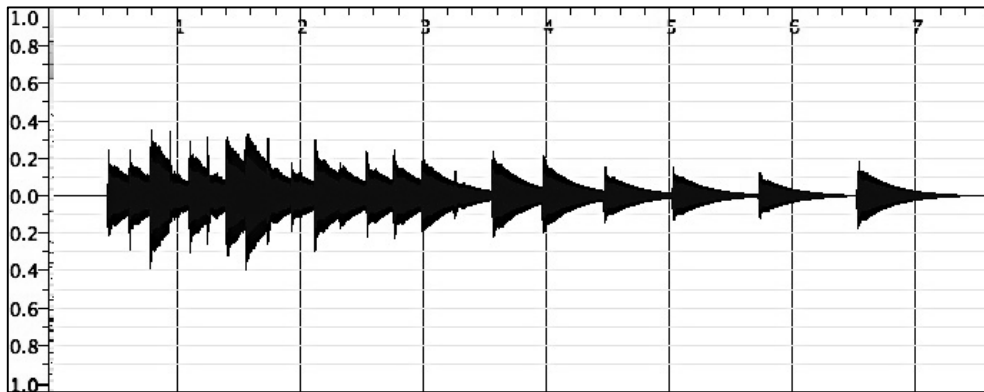
RYTHME 15 : *ACCELERANDO*

Sonagramme



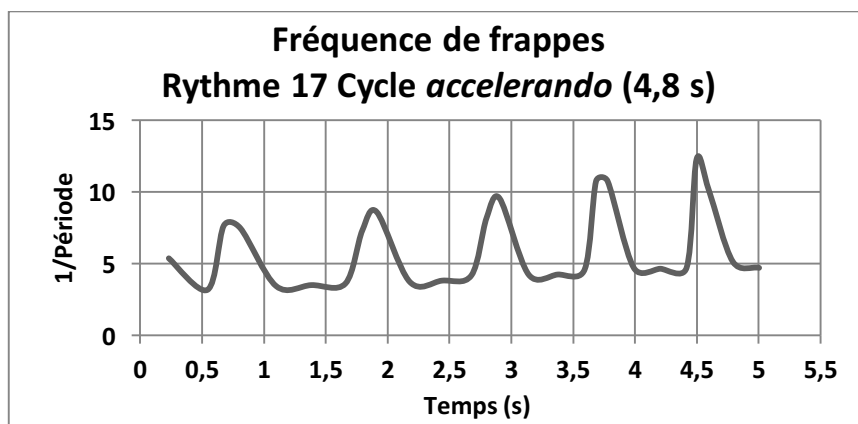
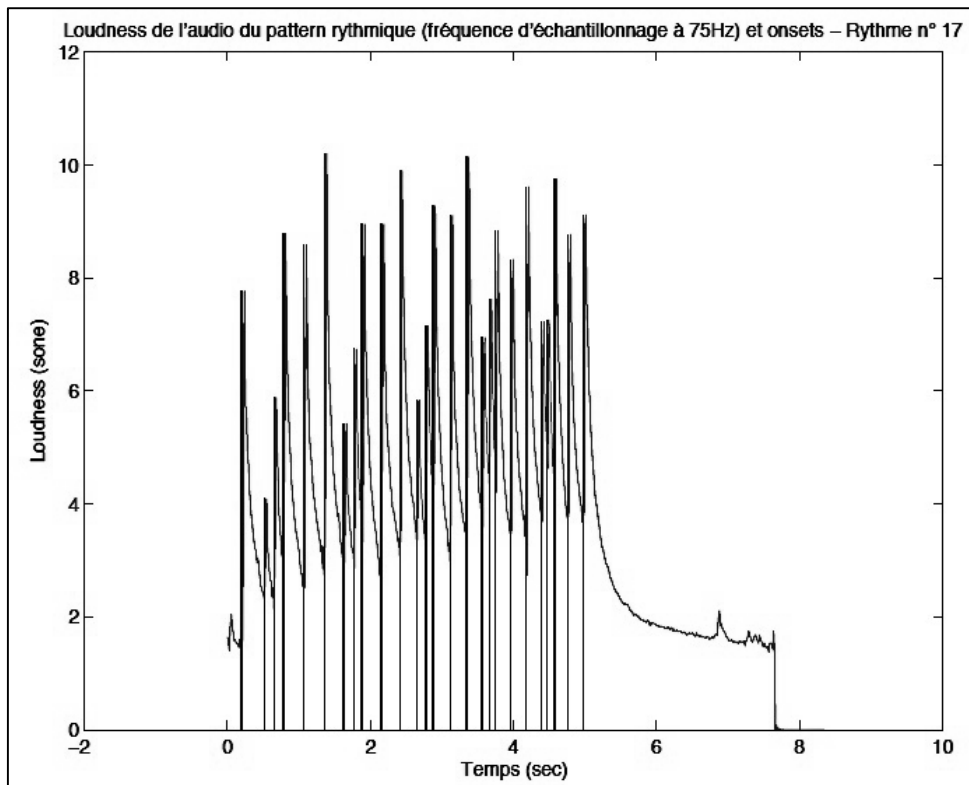
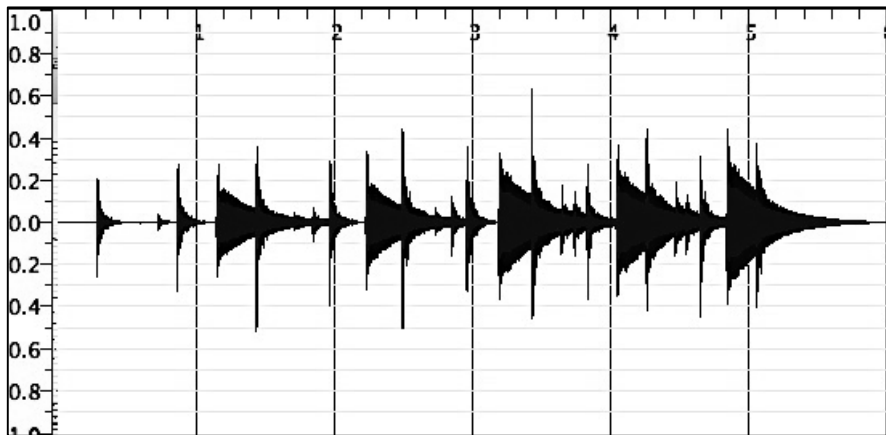
RYTHME 16 : *RALLENTANDO*

Sonagramme



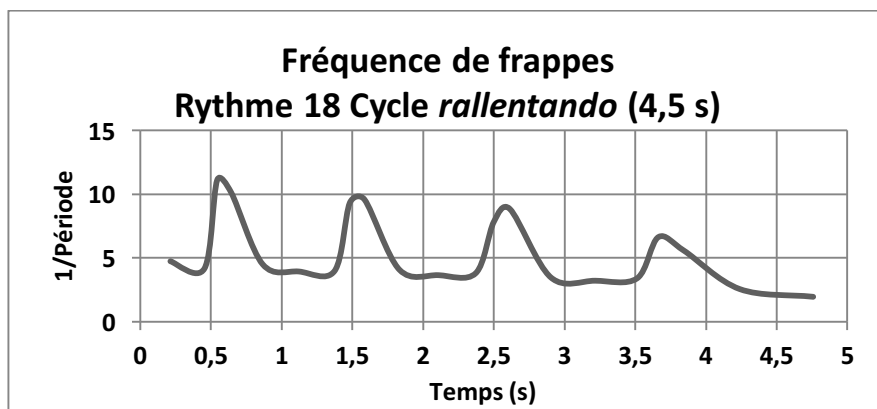
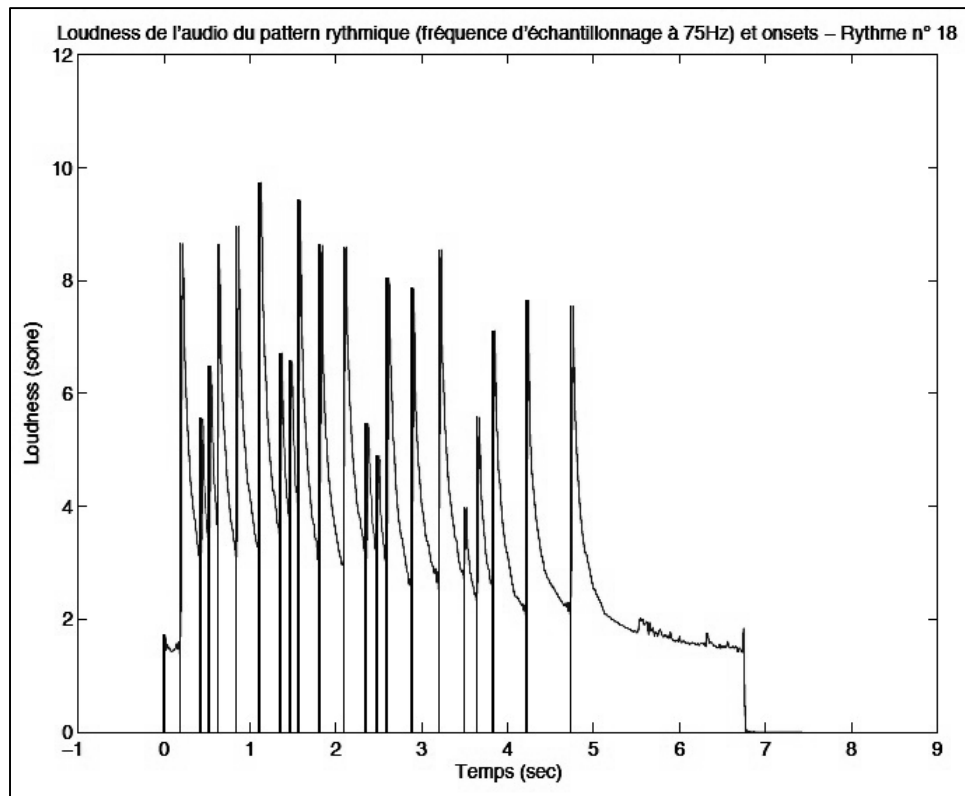
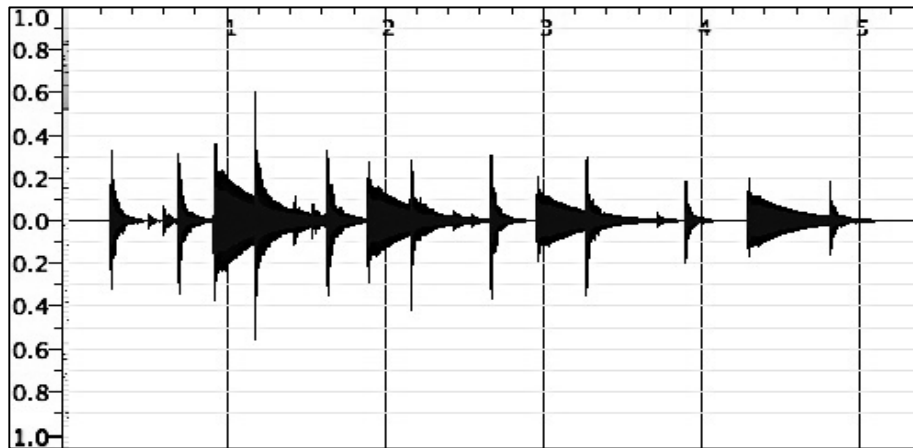
RYTHME 17 : CYCLE ACCELERANDO

Sonagramme



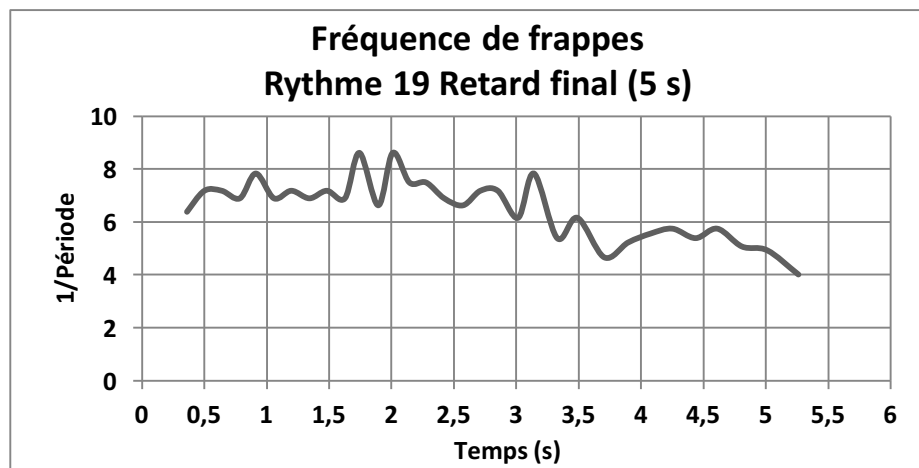
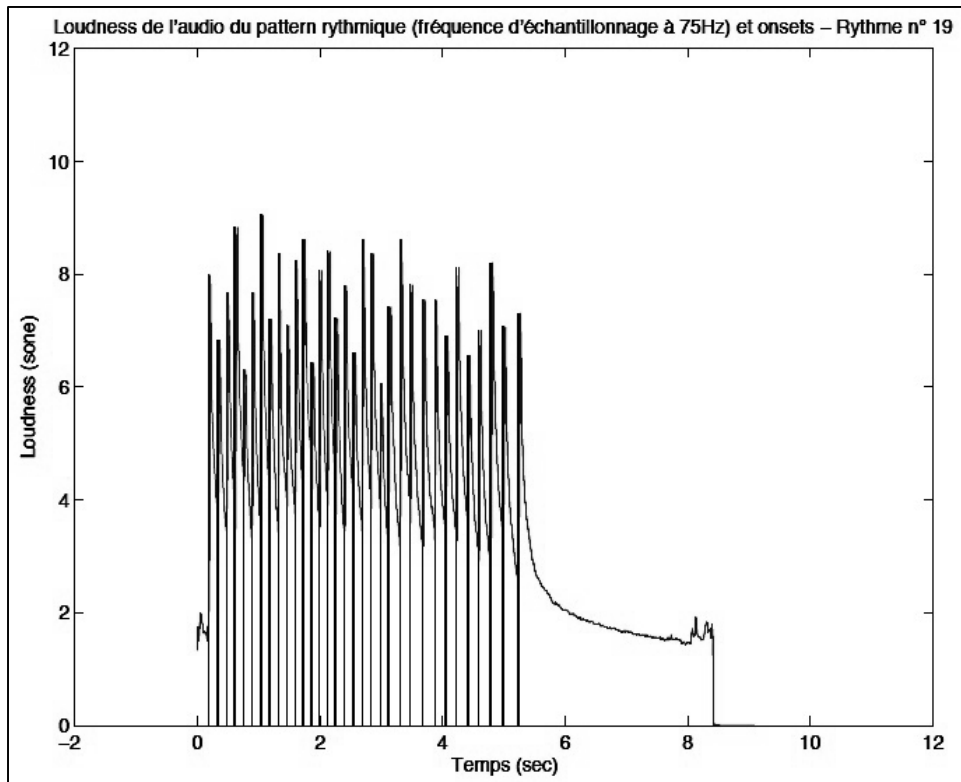
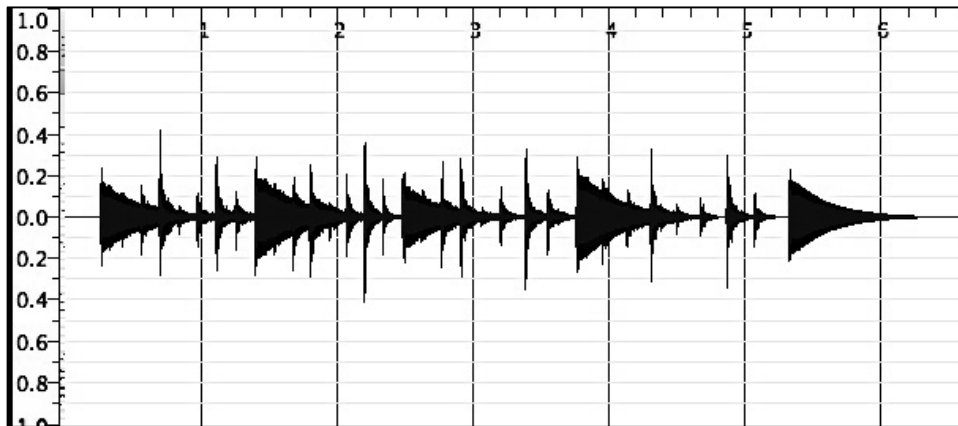
RYTHME 18 : CYCLE *RALLENTANDO*

Sonagramme



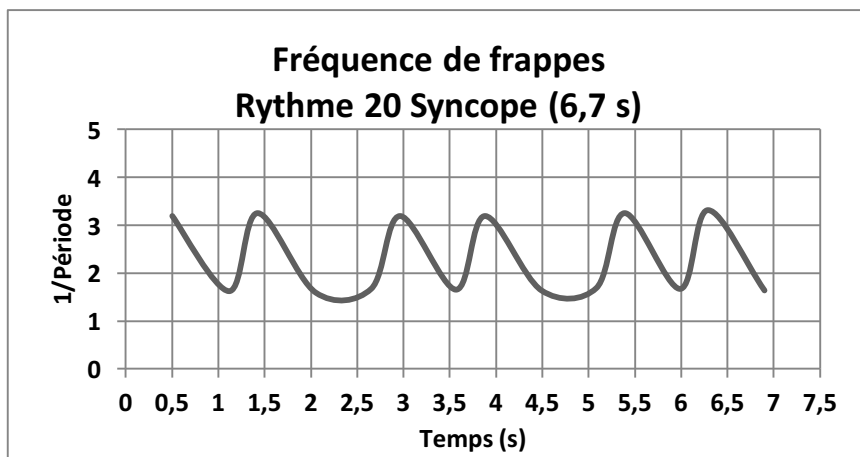
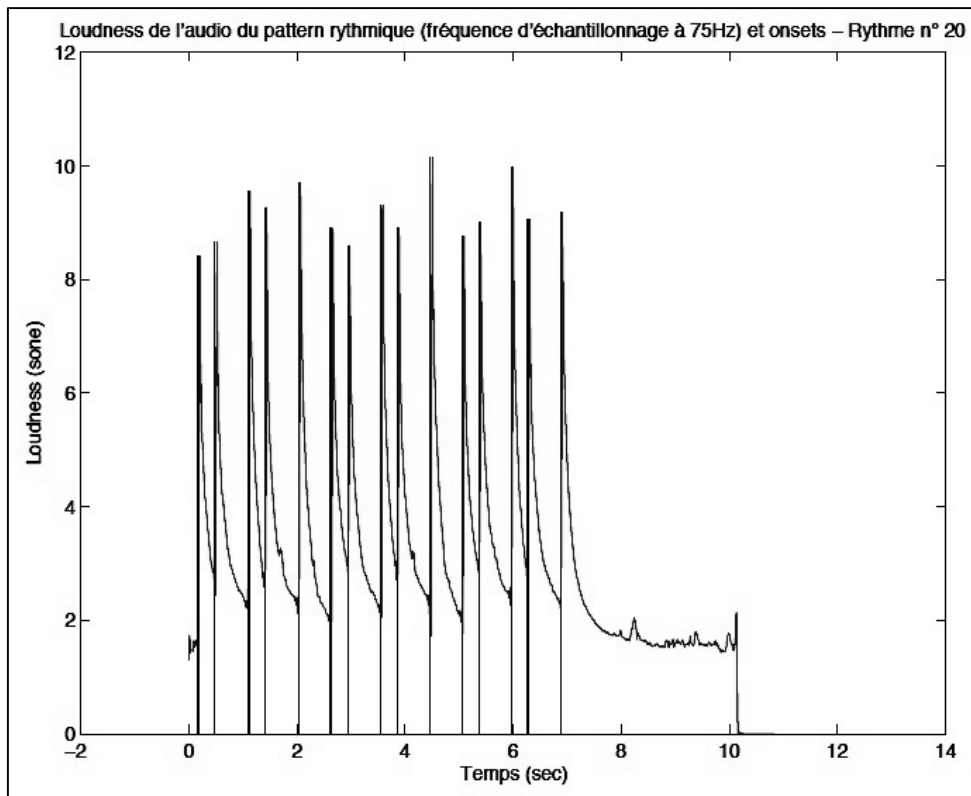
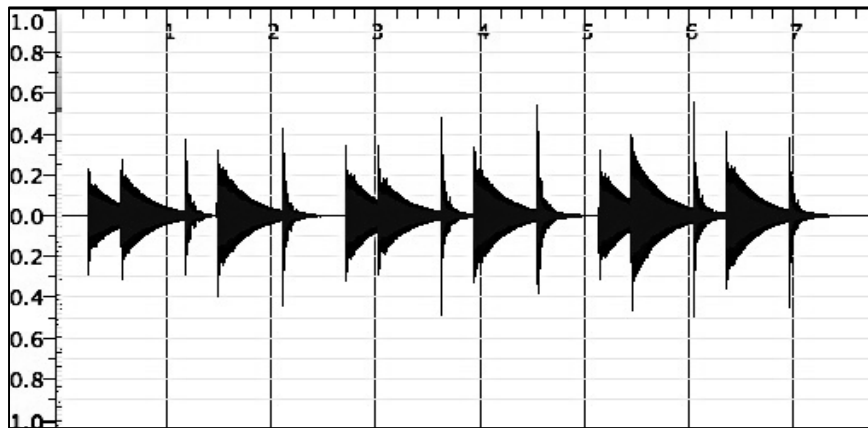
RYTHME 19 : RETARD FINAL

Sonagramme



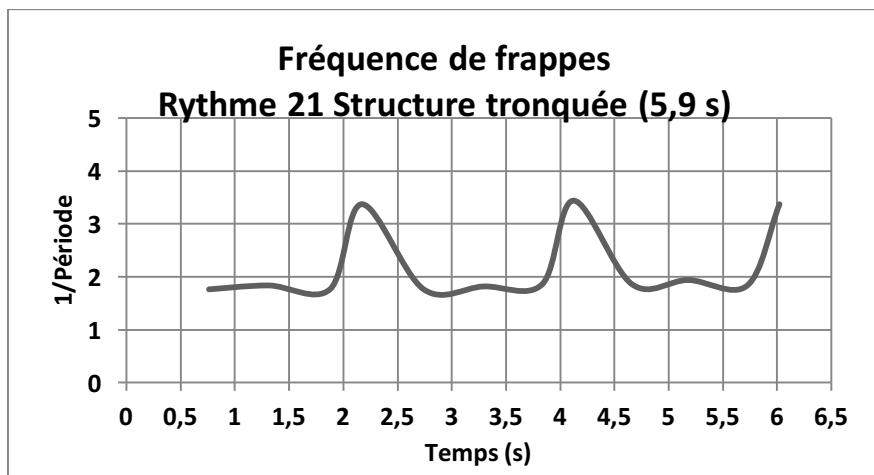
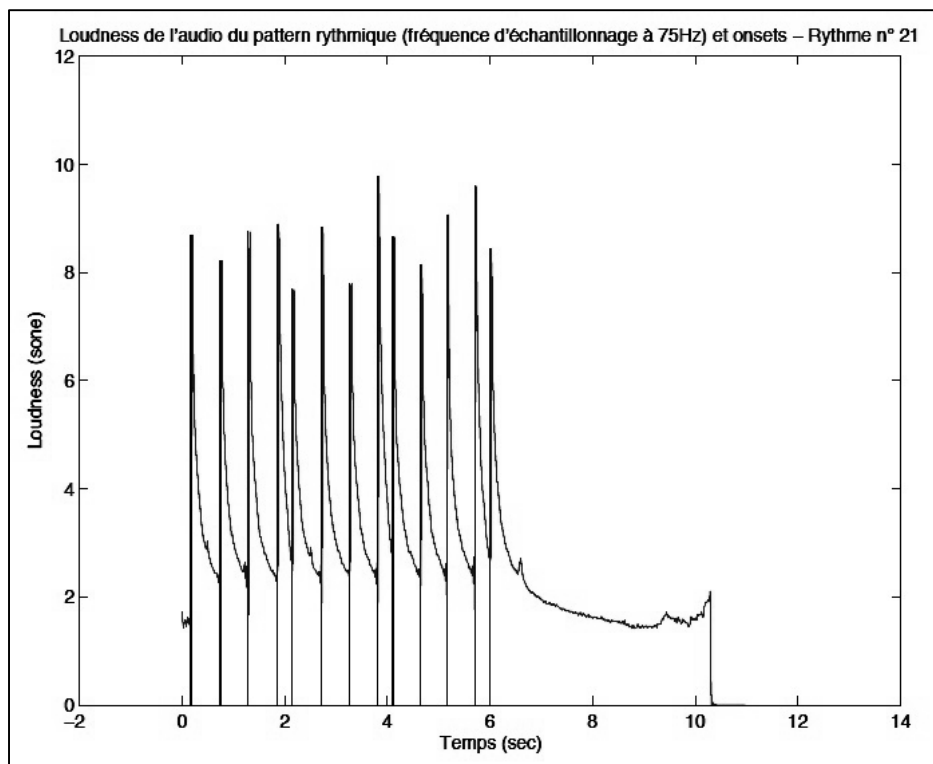
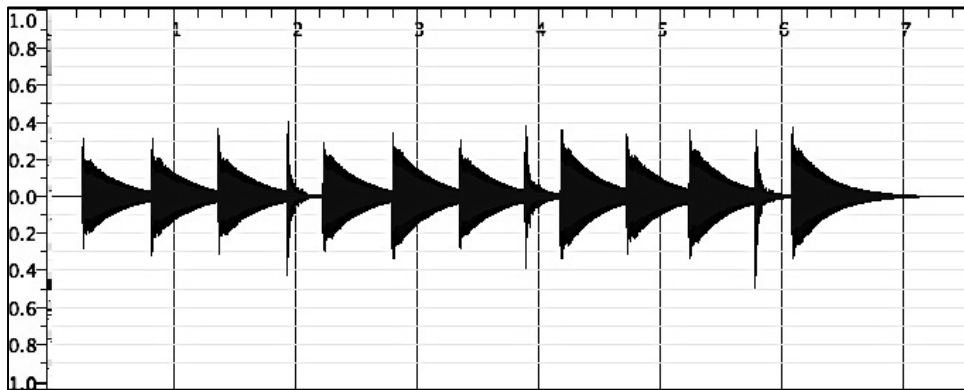
RYTHME 20 : SYNCOPE

Sonagramme



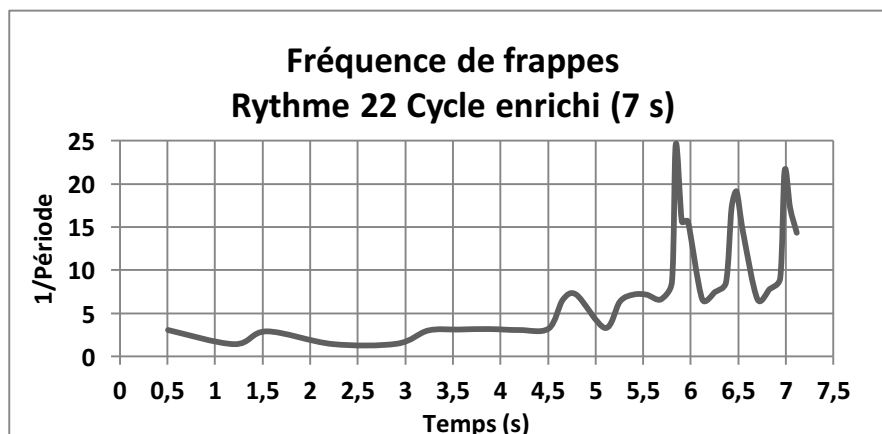
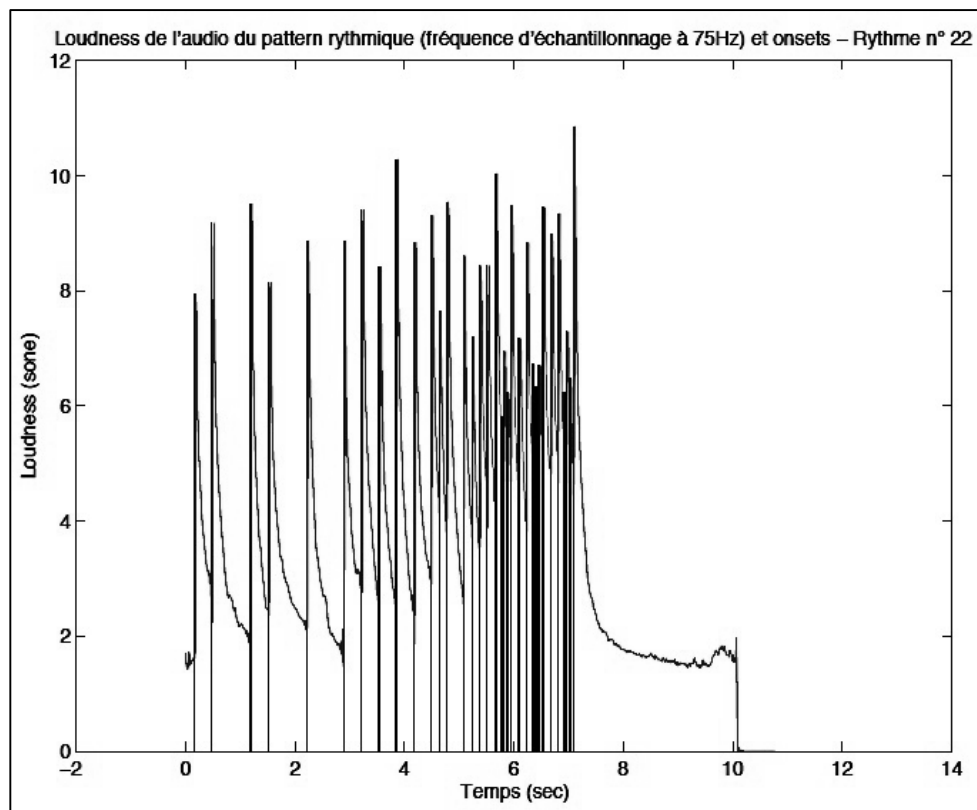
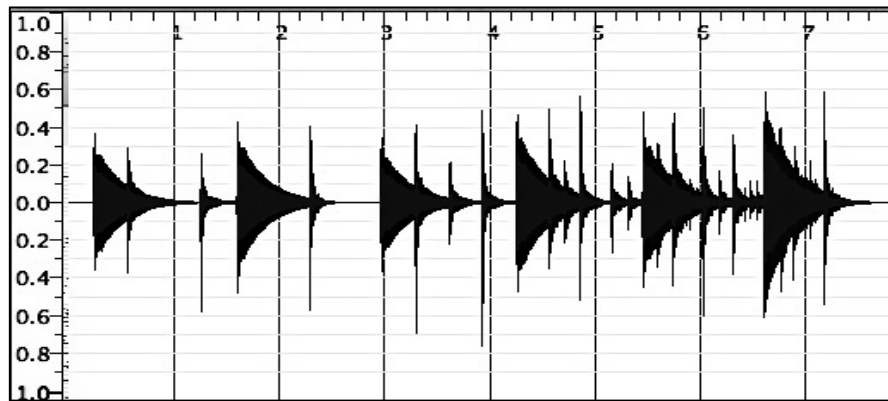
RYTHME 21 : STRUCTURE TRONQUÉE

Sonagramme



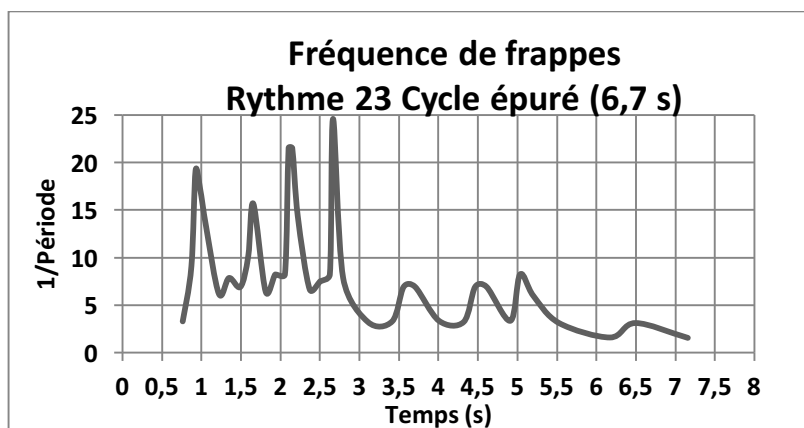
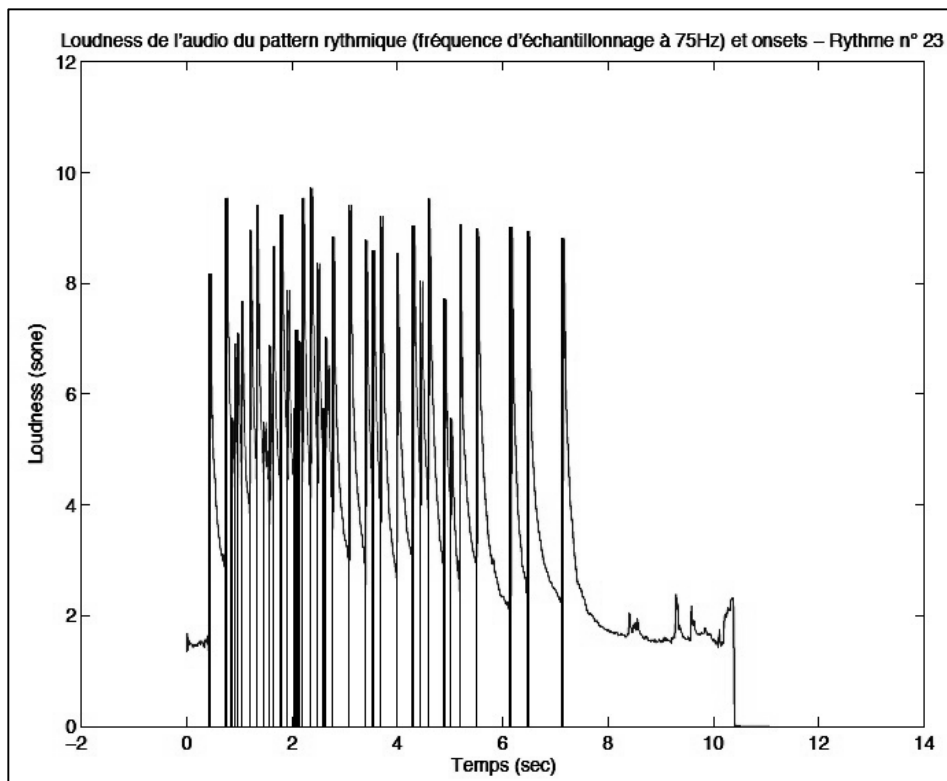
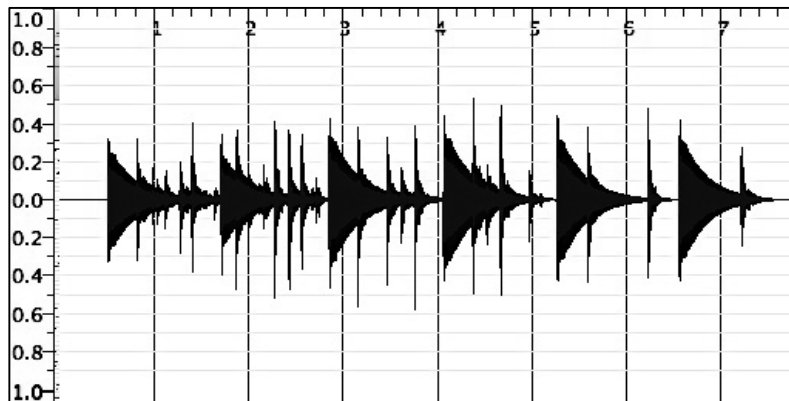
RYTHME 22 : CYCLE ENRICHI

Sonagramme



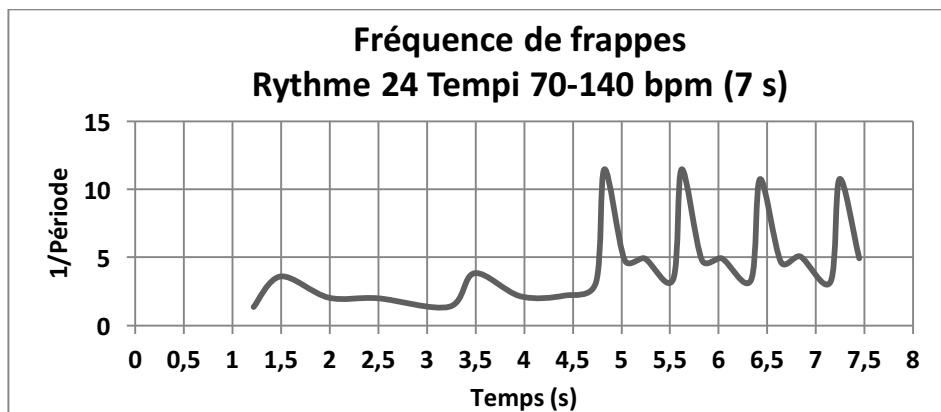
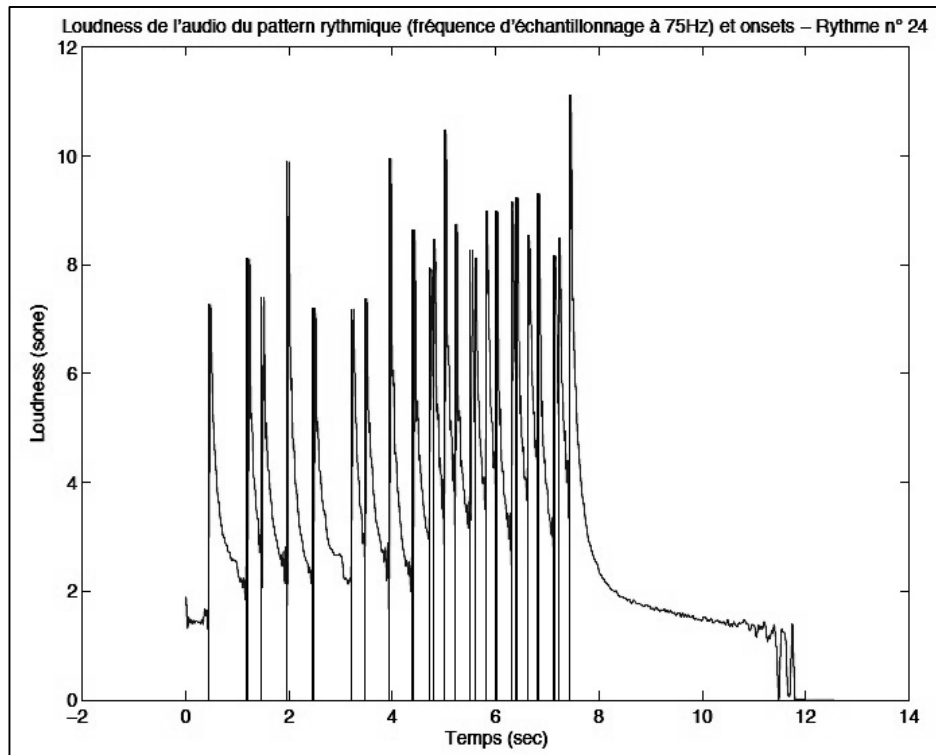
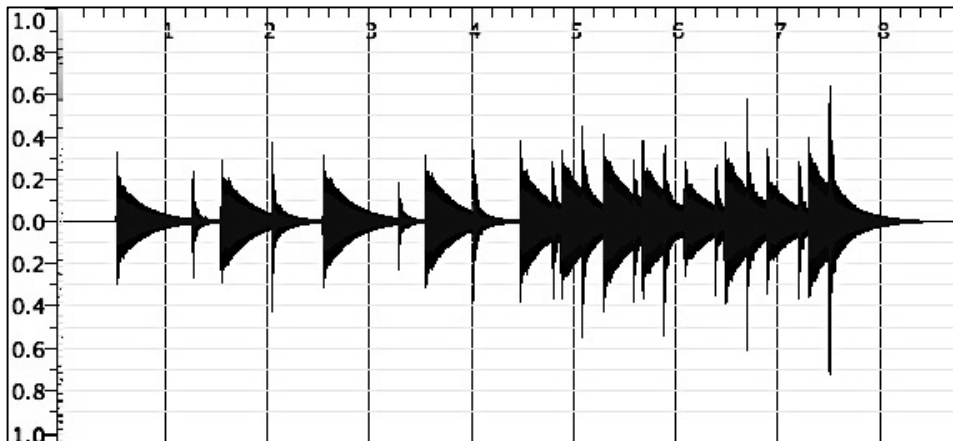
RYTHME 23 : CYCLE ÉPURÉ

Sonagramme



RYTHME 24 : TEMPI 70-140 bpm

Sonagramme



3 Annexe III : Liste des tâches liées au calcul sur le logiciel Matlab de la corrélation de l'intensité du pattern rythmique et de la vitesse du graphisme

- **Importation et mise en forme des données** (données spatiales du stylo, données de niveau sonore et d'instant d'onset)

Réenregistrement manuel des XLSX en XLS via Microsoft Excel (plusieurs centaines)

Importation par Matlab des fichiers XLS

Corrections automatiques (valeurs aberrantes, saut de ligne, etc.)

Corrections manuelles de problèmes d'importation non résolus automatiquement

Rangement des données dans une structure Matlab par rythme et enfant

Détection automatique des bugs de l'enregistrement des données du stylo (par seuillage par dimension de la tablette graphique)

Rééchantillonnage de toutes les données à 75 Hz

Vecteur temporel associé aux données avec origine temporelle commune

- **Calcul et traitement des données pour décrire le mouvement du stylo**

Calcul de la vitesse du stylo

Calcul de l'accélération du stylo

Calcul des valeurs de loudness aux instants des onsets

Mise à taille identique (par remplissage de zéros) pour faciliter la comparaison et le calcul de corrélation

- **Corrélations pour chaque enfant et chaque pattern rythmique**

Sans filtrage des signaux d'entrée :

Calcul de la corrélation de la loudness du pattern rythmique audio et de la vitesse du tracé spatial du stylo

Calcul de la corrélation de la loudness du pattern rythmique audio et de l'accélération du tracé spatial du stylo

Calcul de la corrélation de la loudness des onsets et de la vitesse du tracé spatial du stylo

Calcul de la corrélation de la loudness des onsets et de l'accélération du tracé spatial du stylo

Tracé de ces 4 graphes pour chaque rythme et chaque enfant (871 graphes) en linéaire et logarithmique, extraction de la corrélation pour un décalage nul.

Avec filtrage des basses fréquences des signaux d'entrée :

Calcul de la corrélation de la loudness du pattern rythmique audio et de la vitesse du tracé spatial du stylo

Calcul de la corrélation de la loudness du pattern rythmique audio et de l'accélération du tracé spatial du stylo

Calcul de la corrélation de la loudness des onsets et de la vitesse du tracé spatial du stylo

Calcul de la corrélation de la loudness des onsets et de l'accélération du tracé spatial du stylo

Tracé de ces 4 graphes pour chaque rythme et chaque enfant (871 graphes) en linéaire et logarithmique, extraction de la corrélation pour un décalage nul.

4 Annexe IV : Valeur maximale de corrélation par seuil de la vitesse graphique et de l'intensité perçue à l'instant des frappes, par rythme

Nombre de productions par rythmes, selon les seuils de corrélation de 0.1, 0.2, 0.3 et 0.4

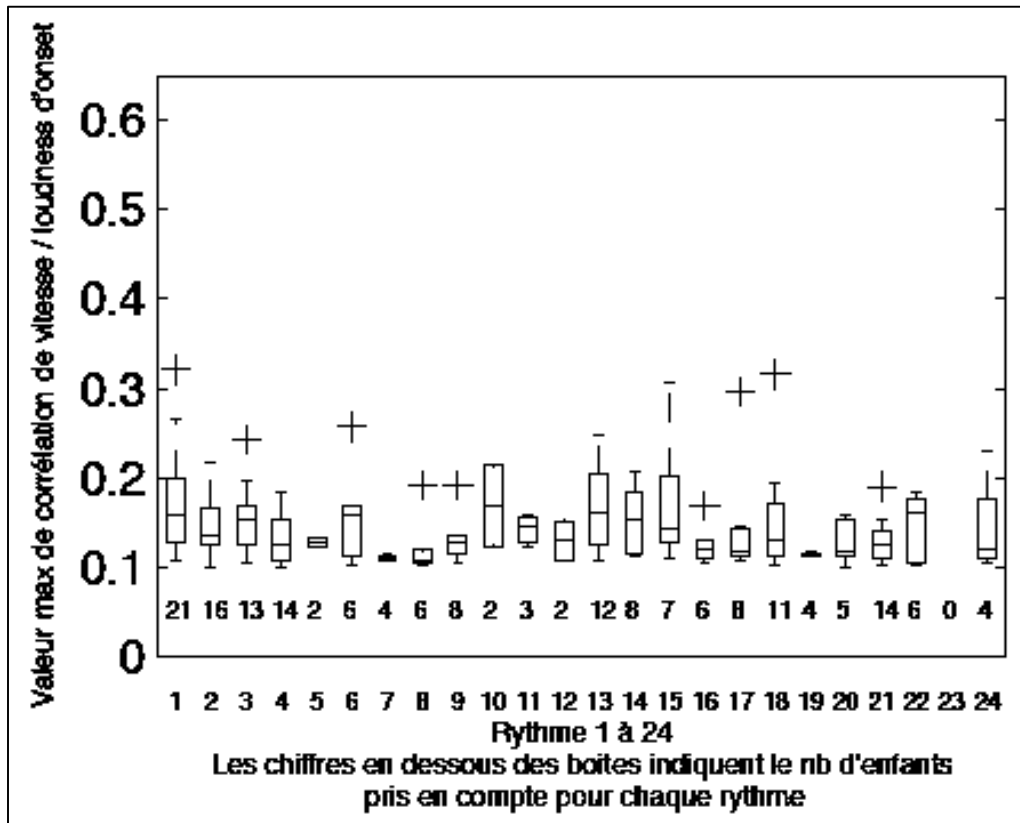


Tableau 99: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.1) entre vitesse graphique et intensité à l'instant des frappes. Nombre de productions par rythme

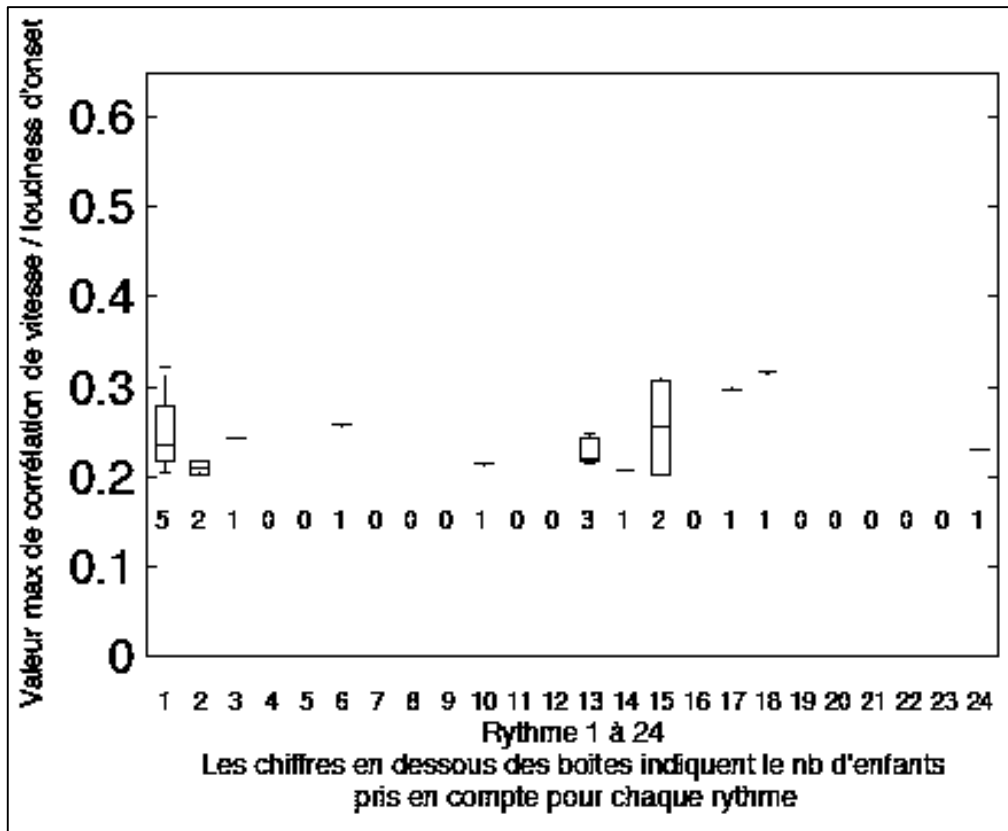


Tableau 100: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.2) entre vitesse graphique et intensité à l'instant des frappes. Nombre de productions par rythme

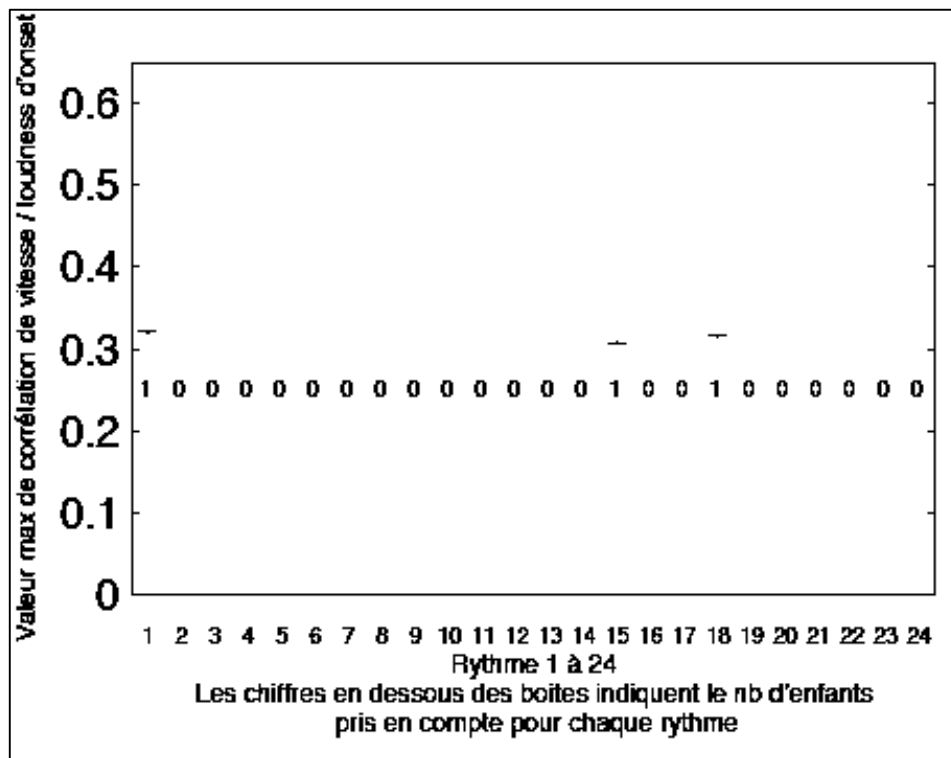


Tableau 101: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.3) entre vitesse graphique et intensité à l'instant des frappes. Nombre de productions par rythme

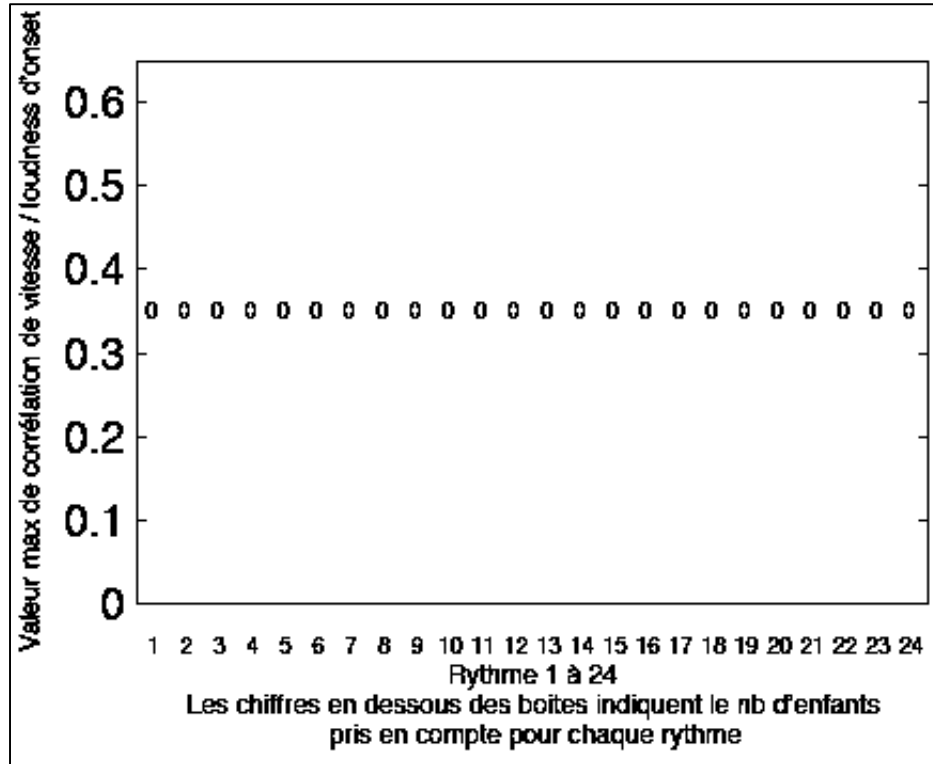


Tableau 102: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.4) entre vitesse graphique et intensité à l'instant des frappes. Nombre de productions par rythme

5 Annexe V : Liste des productions graphiques selon le seuil de corrélation vitesse-intensité

Seuil de corrélation maximale	Rythme	Enfant
Supérieur à 0.2	1	F02AP F03CC F04CHT F04CKB ronds F06LZ F07LB F08AG F09HN F09KP F10SR F11MF G01AL points G02CT G05CM points G05QD G05TM G06EGC G09VL G11RE G12JFC
	2	F02AP F04BD F04VF F05AB F08AG F09HN F09KP F10SR F11MF G01AL G02CT G05CM points G05QD G05TM G06EGC G06MB G11KG G11RE G12JFC
	3	F03CC points F04CHT F05AB F05CH F08AG F10SR G01AL

		G01LG G01RI points G05TM G11ML points G11RE G12JFC
	4	F02AP F03CC F04BD F04VF F05AB F05CH F07CL F08AG F11MF G01AL G05QD G05TM G06EGC G09VL G11ML G12JFC G12SR
	5	F08AG G01AL G01LG G02CT G05TM G11ML
	6	F04VF F05AB G05QD G12SR
	7	G12SR
	8	F11MF G01AL G05CM
	9	F03CC F04CHT F04VF F07CL F07LB F09HN G01AL G01RI G02CT G05TM G06MB G09VL G12JFC
	10	F03CC G01RI
	11	F07CL F09KP G01AL G05TM
	13	F02AP

		F04BD F04CHT F04CKB F04VF F05CH F07LB F09HN G02CT G08AR G11ML
	14	F04BD F04CHT F04CKB F06LZ F08AG F09HN F11MF G01RI G09VL G11KG
	15	F03CC F04CHT G01LG G02CT G03GK G05TM G09VL G11ML
	16	F02AP F04BD F04CHT F05AB F09HN G06MB
	17	F03CC F04CKB F07LB F09HN F09KP G02CT G09VL
	18	F02AP F04BD F04CHT F05AB F06LZ F07LB F08AG F09HN F11MF G01AL G02CT G03GK G05QD G06EGC G06MB G09VL

		G11KG G11ML
	19	F07CL G03GK
	20	F02AP F04BD F04VF F05CH F06LZ F09HN G02CT G11ML G12JFC
	21	F02AP F03CC F04CHT F05AB F05CH F07CL F07LB F09KP F10SR G01AL G06EGC G06MB G09VL G11RE
	22	F05AB F05CH F09KP G01LG G05QD G05TM G06MB G11KG G11ML
	23	F03CC F07CL F09KP G02CT
	24	F04CHT F04CKB court F05CH F07LB G05QD G11ML
Supérieur à 0.25	1	F02AP F03CC F04CHT F07LB F08AG F09HN F09KP F10SR G01AL points G02CT G05CM points

		G06EGC G09VL
	2	F02AP F04VF F11MF G02CT G05QD G06MB G11KG G11RE G12JFC
	3	F03CC Points F04CHT F05AB F10SR G01AL G01LG G11RE
	4	F02AP F04VF F07CL F08AG F11MF G01AL G05QD G06EGC
	5	G01LG G02CT G05TM
	6	G12SR
	9	F04CHT G01AL G01RI G12JFC
	10	G01RI
	13	F02AP F04BD F04CHT F04CKB F04VF F05CH F07LB F09HN G08AR
	14	F04BD F04CHT F04CKB F06LZ F09HN G09VL G11KG
	15	G02CT G09VL G11ML
	16	F05AB
	17	F09HN
	18	F04CHT

		F05AB F06LZ F07LB G01AL G03GK G06EGC G09VL
	19	G03GK
	20	F02AP F04BD F06LZ F09HN G11ML G12JFC
	21	F02AP F03CC F04CHT F05AB F05CH F07CL F07LB F10SR G06EGC G06MB G11RE
	22	F05AB F05CH G01LG G05QD
	23	F09KP
	24	F05CH G05QD
Supérieur à 0.3	1	F02AP F03CC F07LB F09HN F09KP F10SR G02CT
	2	F04VF G02CT G06MB G12JFC
	3	F04CHT F05AB G01LG
	4	F02AP F07CL F08AG G06EGC
	6	G12SR
	9	F04CHT
	13	F04CHT F04CKB F07LB F09HN

	14	F04BD F04CHT F06LZ F09HN G09VL
	18	F07LB
	20	F02AP
	21	F02AP F05AB F10SR G06EGC G11RE
	22	F05CH
Supérieur à 0.35	1	F02AP F03CC F07LB F09HN
	3	F05AB
	4	F02AP
	6	G12SR
	9	F04CHT
	13	F04CHT F04CKB F07LB F09HN
	14	F04BD F09HN G09VL
	22	F05CH
Supérieur à 0.4	1	F03CC F07LB F09HN
	3	F05AB
	6	G12SR
	13	F04CHT F04CKB F07LB F09HN
	14	F09HN G09VL

6 Annexe VI : Tableaux de comparaison des données dynamiques et formelles graphiques et de synchronisation audiographique, selon les propriétés des rythmes

6.1 Effets sur le graphisme de l'organisation temporelle de l'intensité du rythme

6.1.1 Effets de l'intensité 'absolue' : nuances *forte* et *piano*

	RYTHME			
GRAPHISME	R5 Elan-saut	R12 Graphisme Alpha	R11 Graphisme Arche	R10 Graphisme Boucle
Nombre de productions	33	32	31	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	75%	65%	65%	50%
Vitesse élevée	60% ++	50%	45%	40%
Vitesse irrégulière	25%	30%	30%	40%
Accélération	20%	15%	40%	35%
Décélération				
Problème de mesure de vitesse	70% +	55%	40%	30%
Problème lié à vitesse élevée	50% ++	50%	40%	20%
Problème lié à forte accélération	10%	10%	5%	10%
Problème en début de production	45%	40%	20%	15%
Lié à vitesse	35%	35%	20%	12%
Lié à accélération	0%	10%		3%
Problème en milieu de production	25%	13%	13%	5%
Lié à vitesse	15%	13%	13%	3%
Lié à accélération	10%	3%		3%
Problème en fin de production		6%	3%	5%
Lié à vitesse		3%		5%
Lié à accélération				3%
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	80%	55%	50%	50%
Périodique et continue	30%	45%	45%	35%
Périodique et discontinue	30%	5%		10%
Périodique et disjointe	20%	3%	3%	5%
Apériodique et jointe	5%	25%	25%	25%
Nombre de formes graphiques : 1	80%	80%	80%	75%
2	20%	20%	20%	25%

3				
Taille : Grand	35%	50%	50%	12%
Moyen	45%	45%	40%	50%
Petit	15%		10%	40%
Moyenne-petite	5%			
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	60%	50%	60%	70%
Croissante	20%	30%	40%	15%
Décroissante	10%	15%		10%
- Traitement de l'espace : Aligné	75%	45%	60%	85%
Diffus	25%	30%	30%	12%
Sur place		20%	15%	
- Graphisme Joint	50% (mini)	90%	95%	90%
Disjoint	10%	15%	10%	12%
Joint-disjoint	40%			
Disjoint-joint				
Continu	45%	100%	100%	70%
Discontinu	55% à la fin			30% milieu
Continu /arrêt				
Arrêt/continu				
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchrone	60%	60%	75%	75%
Intention de synchronisation	40%	55%	75%	75%
Synchrone	20%	5%		
Asynchrone	20%	20%	15%	15%
Désynchronisation		10%	5%	
Synchronisation	20%	10%		5%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation				
Frappe	60%	60%	60%	
Élément indéterminé	25%	20%	20%	5%
Demi-pulsation				
Intensité ou hauteur				45%
1 pulsation sur 2				
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation				
Frappes	60%	60%	70%	
Intensité				80%
Élément instable				
Élément indéterminé	25%	20%	20%	5%
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation				
Frappes puis fréquence de frappes				
Fréquence de frappes puis frappes				
Pulsation puis fréquence de frappes				
Demi-pulsation puis pulsation				

Tableau 103: Données graphiques suivant les variations d'intensité 'absolue' (R5, R12, R11, R10)

	RYTHME	
GRAPHISME	R5 Elan-saut	R10 Graphisme Boucle
Nombre de productions	33	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE		
Patterns cinétiques	75%	50%
Vitesse élevée	60% ++	40%
Vitesse irrégulière	25%	40%
Accélération	20%	35%
Décélération		
Problème de mesure de vitesse	70% +	30%
Problème lié à vitesse élevée	50% ++	20%
Problème lié à forte accélération	10%	10%
Problème en début de production	45%	15%
Lié à vitesse	35%	12%
Lié à accélération	0%	3%
Problème en milieu de production	25%	5%
Lié à vitesse	15%	3%
Lié à accélération	10%	3%
Problème en fin de production		5%
Lié à vitesse		5%
Lié à accélération		3%
FORME GRAPHIQUE		
Périodique	80%	50%
Périodique et continue	30%	35%
Périodique et discontinue	30%	10%
Périodique et disjointe	20%	5%
Apériodique et jointe	5%	25%
Nombre de formes graphiques : 1	80%	75%
2	20%	25%
3		
Taille : Grand	35%	12%
Moyen	45%	50%
Petit	15%	40%
Moyenne-petite	5%	
Grande-petite		
Petite-grande		
- Evolution : Constante	60%	70%
Croissante	20%	15%
Décroissante	10%	10%
- Traitement de l'espace : Aligné	75%	85%
Diffus	25%	12%
Sur place		
- Graphisme Joint	50% (mini)	90%
Disjoint	10%	12%
Joint-disjoint	40%	
Disjoint-joint		
Continu	45%	70%
Discontinu	55% à la fin	30% milieu
Continu /arrêt		
Arrêt/continu		
SYNCHRONISATION		
Intention + Synchrone	60%	75%
Intention de synchronisation	40%	75%
Synchrone	20%	

Asynchrone	20%	15%
Désynchronisation		
Synchronisation	20%	5%
- Un seul élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappe	60%	
Élément indéterminé	25%	5%
Demi-pulsation		
Intensité ou hauteur		45%
1 pulsation sur 2		
- Principal élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappes	60%	
Intensité		80%
Élément instable		
Élément indéterminé	25%	5%
- Deux éléments de synchronisation :		
Frappe puis intensité		
Pulsation puis ½ pulsation		
Frappes puis fréquence de frappes		
Fréquence de frappes puis frappes		
Pulsation puis fréquence de frappes		
Demi-pulsation puis pulsation		

Tableau 104: Données graphiques suivant les variations d'intensité 'absolue' (R5, R10)

6.1.2 Effets des nuances *crescendo* et *decrescendo*

	RYTHME	
GRAPHISME	R13 <i>Crescendo</i>	R14 <i>Decrescendo</i>
Nombre de productions	33	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE		
Patterns cinétiques	85%	65%
Vitesse élevée	50%	45%
Vitesse irrégulière	non	+ 10%
Accélération	100%	10%
Décélération		+ 60%
Problème de mesure de vitesse	45%	45%
Problème lié à vitesse élevée	100%	80%
Problème lié à forte accélération	100%	
Problème en début de production		25%
Lié à vitesse		20%
Lié à accélération		
Problème en milieu de production	25%	20%
Lié à vitesse	25%	12%
Lié à accélération	25%	
Problème en fin de production	20%	
Lié à vitesse	20%	
Lié à accélération	20%	
FORME GRAPHIQUE		
Périodique	65%	60%
Périodique et continue	30%	30%
Périodique et discontinue	20%	20%
Périodique et disjointe	15%	12%
Apériodique et jointe	12%	30%
Nombre de formes graphiques : 1	70%	90%
2	30%	10%
3		
Taille : Grand	35%	20%
Moyen	50%	30%
Petit	5%	3%
Moyenne-petite		20%
Grande-petite		20%
Petite-grande	5%	
- Evolution : Constante	30%	40%
Croissante	70%	3%
Décroissante	3%	12%
- Traitement de l'espace : Aligné	70%	65%
Diffus	30%	20%
Sur place	10%	5%
- Graphisme Joint	90%	80%
Disjoint		
Joint-disjoint		
Disjoint-joint		
Continu	85%	60%
Discontinu		
Continu /arrêt		
Arrêt/continu		
SYNCHRONISATION		
Intention + Sychrone	80%	65%
Intention de synchronisation	60%	35%
Sychrone	20%	30%

Asynchrone		20%
Désynchronisation	20%	10%
Synchronisation		3%
- Un seul élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappe	20%	25%
Élément indéterminé		
Demi-pulsation		
Intensité ou hauteur	20%	20%
1 pulsation sur 2		
- Principal élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappes	80%	60%
Intensité	80%	55%
Élément instable	60% (maxi)	35%
Élément indéterminé		
- Deux éléments de synchronisation :		
Frappe puis intensité	60%	35%
Pulsation puis ½ pulsation		
Frappes puis fréquence de frappes		
Fréquence de frappes puis frappes		
Pulsation puis fréquence de frappes		
Demi-pulsation puis pulsation		

Tableau 105: Données graphiques suivant les variations d'intensité (R13, R14)

6.1.3 Variations d'intensité durant l'item

	RYTHME	
GRAPHISME	R10 Graphisme Boucle pp <> <>	R11 Graphisme Arche ff > <
Nombre de productions	32	31
DYNAMIQUE GRAPHIQUE		
Patterns cinétiques	50%	65%
Vitesse élevée	40%	45%
Vitesse irrégulière	40%	30%
Accélération	35%	40%
Décélération		
Problème de mesure de vitesse	30%	40%
Problème lié à vitesse élevée	20%	40%
Problème lié à forte accélération	10%	5%
Problème en début de production	15%	20%
Lié à vitesse	12%	20%
Lié à accélération	3%	
Problème en milieu de production	5%	13%
Lié à vitesse	3%	13%
Lié à accélération	3%	
Problème en fin de production	5%	3%
Lié à vitesse	5%	
Lié à accélération	3%	
FORME GRAPHIQUE		
Périodique	50%	50%
Périodique et continue	35%	45%
Périodique et discontinue	10%	
Périodique et disjointe	5%	3%
Apériodique et jointe	25%	25%
Nombre de formes graphiques : 1	75%	80%
2	25%	20%
3		
Taille : Grand	12%	50%
Moyen	50%	40%
Petit	40%	10%
Moyenne-petite		
Grande-petite		
Petite-grande		
- Evolution : Constante	70%	60%
Croissante	15%	40%
Décroissante	10%	
- Traitement de l'espace : Aligné	85%	60%
Diffus	12%	30%
Sur place		15%
- Graphisme Joint	90%	95%
Disjoint	12%	10%
Joint-disjoint		
Disjoint-joint		
Continu	70%	100%
Discontinu	30% milieu	
Continu /arrêt		
Arrêt/continu		
SYNCHRONISATION		
Intention + Synchronie	75%	75%
Intention de synchronisation	75%	75%

Synchrone		
Asynchrone	15%	15%
Désynchronisation		5%
Synchronisation	5%	
- Un seul élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappe		60%
Élément indéterminé	5%	20%
Demi-pulsation		
Intensité ou hauteur	45%	
1 pulsation sur 2		
- Principal élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappes		70%
Intensité	80%	
Élément instable		
Élément indéterminé	5%	20%
- Deux éléments de synchronisation :		
Frappe puis intensité		
Pulsation puis ½ pulsation		
Frappes puis fréquence de frappes		
Fréquence de frappes puis frappes		
Pulsation puis fréquence de frappes		
Demi-pulsation puis pulsation		

Tableau 106: Données graphiques suivant les variations d'intensité (R10, R11)

6.1.4 Intensification par accentuation des frappes

Rythmes peu accentués R10 et R12 et rythmes accentués R11, R5, R8 :

	RYTHME				
GRAPHISME	R10 Graphisme Boucle	R12 Graphisme Alpha	R11 Graphisme Arche	R5 Elan-saut	R8 Tournoyer
Nombre de productions	32	32	31	33	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE					
Patterns cinétiques	50%	65%	65%	75%	70%
Vitesse élevée	40%	50%	45%	60% ++	40%
Vitesse irrégulière	40%	30%	30%	25%	15%
Accélération	35%	15%	40%	20%	30%
Décélération					
Problème de mesure de vitesse	30%	55%	40%	70% +	40%
Problème lié à vitesse élevée	20%	50%	40%	50% ++	25%
Problème lié à forte accélération	10%	10%	5%	10%	10%
Problème en début de production	15%	40%	20%	45%	25%
Lié à vitesse	12%	35%	20%	35%	4%
Lié à accélération	3%	10%		0%	
Problème en milieu de production	5%	13%	13%	25%	12%
Lié à vitesse	3%	13%	13%	15%	12%
Lié à accélération	3%	3%		10%	10%
Problème en fin de production	5%	6%	3%		
Lié à vitesse	5%	3%			
Lié à accélération	3%				
FORME GRAPHIQUE					
Périodique	50%	55%	50%	80%	75%
Périodique et continue	35%	45%	45%	30%	45%
Périodique et discontinue	10%	5%		30%	15%
Périodique et disjointe	5%	3%	3%	20%	12%
Apériodique et jointe	25%	25%	25%	5%	12%
Nombre de formes graphiques : 1	75%	80%	80%	80%	85%
2	25%	20%	20%	20%	12%
3					3%
Taille : Grand	12%	50%	50%	35%	35%
Moyen	50%	45%	40%	45%	55%
Petit	40%		10%	15%	10%
Moyenne-petite				5%	
Grande-petite					
Petite-grande					
- Evolution : Constante	70%	50%	60%	60%	65%
Croissante	15%	30%	40%	20%	35%
Décroissante	10%	15%		10%	
- Traitement de l'espace : Aligné	85%	45%	60%	75%	80%
Diffus	12%	30%	30%	25%	15%
Sur place		20%	15%		3%
- Graphisme Joint	90%	90%	95%	50% (mini)	80%
Disjoint	12%	15%	10%	10%	20%
Joint-disjoint				40%	
Disjoint-joint					
Continu	70%	100%	100%	45%	95%
Discontinu	30% milieu			55% à la fin	5%
Continu /arrêt					
Arrêt/continu					

SYNCHRONISATION					
Intention + Synchronie	75%	60%	75%	60%	65%
Intention de synchronisation	75%	55%	75%	40%	35%
Synchrone		5%		20%	30%
Asynchrone	15%	20%	15%	20%	25%
Désynchronisation		10%	5%		5%
Synchronisation	5%	10%		20%	5%
- Un seul élément de synchronisation :					
Pulsation					40%
Frappe		60%	60%	60%	
Élément indéterminé	5%	20%	20%	25%	
Demi-pulsation					35%
Intensité ou hauteur	45%				
1 pulsation sur 2					
- Principal élément de synchronisation :					
Pulsation					75%
Frappes		60%	70%	60%	
Intensité	80%				
Élément instable					3%
Élément indéterminé	5%	20%	20%	25%	
- Deux éléments de synchronisation :					
Frappe puis intensité					
Pulsation puis ½ pulsation					3%
Frappes puis fréquence de frappes					
Fréquence de frappes puis frappes					
Pulsation puis fréquence de frappes					
Demi-pulsation puis pulsation					

Tableau 107: Données graphiques suivant l'accentuation des frappes (R10, R12, R11, R5, R8)

6.2 Effets sur le graphisme de l'organisation temporelle du timbre du rythme

6.2.1 Alternance de timbres

	RYTHME
GRAPHISME	R1
	Trot
Nombre de productions	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE	
Patterns cinétiques	60%
Vitesse élevée	
Vitesse irrégulière	30%
Accélération	3%
Décélération	
Problème de mesure de vitesse	13%
Problème lié à vitesse élevée	
Problème lié à forte accélération	
Problème en début de production Lié à vitesse Lié à accélération	10%
Problème en milieu de production Lié à vitesse Lié à accélération	3%
Problème en fin de production Lié à vitesse Lié à accélération	
FORME GRAPHIQUE	
Périodique	70%
Périodique et continue	15%
Périodique et discontinue	40%
Périodique et disjointe	13%
Apériodique et jointe	30%
Nombre de formes graphiques : 1	100%
2	
3	
Taille : Grand	15%
Moyen	55%
Petit	30%
Moyenne-petite	
Grande-petite	
Petite-grande	
- Evolution : Constante	90%
Croissante	3%
Décroissante	
- Traitement de l'espace : Aligné	90%
Diffus	10%
Sur place	3%
- Graphisme Joint	85%
Disjoint	15%
Joint-disjoint	
Disjoint-joint	

Continu	60%
Discontinu	40%
Continu /arrêt	
Arrêt/continu	
SYNCHRONISATION	
Intention + Synchronie	45%
Intention de synchronisation	20%
Synchronie	25%
Asynchrone	14
Désynchronisation	5%
Synchronisation	5%
- Un seul élément de synchronisation :	
Pulsation	10%
Frappe	40%
Élément indéterminé	
Demi-pulsation	3%
Intensité ou hauteur	
1 pulsation sur 2	3%
- Principal élément de synchronisation :	
Pulsation	15%
Frappes	45%
Intensité	
Élément instable	
Élément indéterminé	
- Deux éléments de synchronisation :	
Frappe puis intensité	
Pulsation puis ½ pulsation	
Frappes puis fréquence de frappes	
Fréquence de frappes puis frappes	
Pulsation puis fréquence de frappes	
Demi-pulsation puis pulsation	

Tableau 108: Données graphiques suivant l'alternance de timbres (R1)

6.2.2 Variation continue du timbre

	RYTHME
GRAPHISME	R9 Graphisme pointu
Nombre de productions	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE	
Patterns cinétiques	85%
Vitesse élevée	10%
Vitesse irrégulière	
Accélération	3%
Décélération	
Problème de mesure de vitesse	20%
Problème lié à vitesse élevée	10%
Problème lié à forte accélération	0
Problème en début de production	10%
Lié à vitesse	3%
Lié à accélération	
Problème en milieu de production	5%
Lié à vitesse	3%
Lié à accélération	
Problème en fin de production	3%
Lié à vitesse	3%
Lié à accélération	
FORME GRAPHIQUE	
Périodique	55%
Périodique et continue	35%
Périodique et discontinue	10%
Périodique et disjointe	10%
Apériodique et jointe	20%
Nombre de formes graphiques : 1	80%
2	20%
3	
Taille : Grand	20%
Moyen	60%
Petit	20%
Moyenne-petite	
Grande-petite	
Petite-grande	
- Evolution : Constante	90%
Croissante	5%
Décroissante	3%
- Traitement de l'espace : Aligné	95%
Diffus	3%
Sur place	3%
- Graphisme Joint	60%
Disjoint	10%
Joint-disjoint	30% milieu
Disjoint-joint	
Continu	35%
Discontinu	60% milieu
Continu /arrêt	
Arrêt/continu	
SYNCHRONISATION	
Intention + Sychrone	90%

Intention de synchronisation	85%
Synchrone	5%
Asynchrone	
Désynchronisation	3%
Synchronisation	5%
- Un seul élément de synchronisation :	
Pulsation	
Frappe	40%
Élément indéterminé	60%
Demi-pulsation	
Intensité ou hauteur	3%
1 pulsation sur 2	
- Principal élément de synchronisation :	
Pulsation	
Frappes	40%
Intensité	3%
Élément instable	
Élément indéterminé	60%
- Deux éléments de synchronisation :	
Frappe puis intensité	
Pulsation puis ½ pulsation	
Frappes puis fréquence de frappes	
Fréquence de frappes puis frappes	
Pulsation puis fréquence de frappes	
Demi-pulsation puis pulsation	

Tableau 109: Données graphiques suivant les variations de timbre (R9)

6.2.3 Groupement de frappes par effet de timbres

	RYTHME			
GRAPHISME	R1 Trot	R3 Grand galop	R6 Tourner	R8 Tournoyer
Nombre de productions	32	33	33	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	60%	90%	70%	70%
Vitesse élevée		40%	20%	40%
Vitesse irrégulière	30%	5%	30%	15%
Accélération	3%	25%	5%	30%
Décélération		3%	3%	
Problème de mesure de vitesse	13%	40%	40%	40%
Problème lié à vitesse élevée		35%	15%	25%
Problème lié à forte accélération		15%	3%	10%
Problème en début de production	10%	15%	30%	25%
Lié à vitesse		12%	15%	4%
Lié à accélération		3%		
Problème en milieu de production	3%	10%	12%	12%
Lié à vitesse		10%		12%
Lié à accélération		3%	3%	10%
Problème en fin de production		15%		
Lié à vitesse		12%		
Lié à accélération		10%		
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	70%	75%	65%	75%
Périodique et continue	15%	45%	30%	45%
Périodique et discontinue	40%	15%	30%	15%
Périodique et disjointe	13%	15%	5%	12%
Apériodique et jointe	30%	10%	12%	12%
Nombre de formes graphiques : 1	100%	85%	75%	85%
2		15%	20%	12%
3			3%	3%
Taille : Grand	15%	35%	50%	35%
Moyen	55%	45%	40%	55%
Petit	30%	20%	10%	10%
Moyenne-petite				
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	90%	70%	70%	65%
Croissante	3%	25%	20%	35%
Décroissante		5%	3%	
- Traitement de l'espace : Aligné	90%	80%	70%	80%
Diffus	10%	20%	30%	15%
Sur place	3%			3%
- Graphisme Joint	85%	80%	85%	80%
Disjoint	15%	20%	15%	20%
Joint-disjoint				
Disjoint-joint				
Continu	60%	75%	80%	95%
Discontinu	40%	25%	15%	5%
Continu /arrêt				
Arrêt/continu			3%	
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchrone	45%	50%	50%	65%

Intention de synchronisation	20%	10%	25%	35%
Synchrone	25%	40%	25%	30%
Asynchrone	50%	20%	12%	25%
Désynchronisation	5%	12%	10	5%
Synchronisation	5%	20%	10%	5%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation	10%	70%	65%	40%
Frappe	40%		20%	
Élément indéterminé			3%	
Demi-pulsation	3%			35%
Intensité ou hauteur				
1 pulsation sur 2	3%	3%		
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation	15%	80%	65%	75%
Frappes	45%		20%	
Intensité				
Élément instable		5%		3%
Élément indéterminé			3%	
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation		5%		3%
Frappes puis fréquence de frappes				
Fréquence de frappes puis frappes				
Pulsation puis fréquence de frappes				
Demi-pulsation puis pulsation				

Tableau 110: Données graphiques suivant l'effet de groupement par effet de timbres (R1, R3, R6, R8)

6.3 Effets sur le graphisme de l'organisation temporelle des durées du rythme

6.3.1 Durée des intervalles entre les frappes : IOI réguliers, courts versus longs

IOI longs pour R1 et R9 :

	RYTHME					
GRAPHISME	R10 Graphisme Boucle	R12 Graphisme Alpha	R5 Elan-saut	R6 Tourner	R9 Graphisme pointu	R1 Trot
Nombre de productions	32	32	33	33	33	32
DYNAMIQUE GRAPHIQUE						
Patterns cinétiques	50%	65%	75%	70%	85%	60%
Vitesse élevée	40%	50%	60% ++	20%	10%	
Vitesse irrégulière	40%	30%	25%	30%		30%
Accélération	35%	15%	20%	5%	3%	3%
Décélération				3%		
Problème de mesure de vitesse	30%	55%	70% +	40%	20%	13%
Problème lié à vitesse élevée	20%	50%	50% ++	15%	10%	
Problème lié à forte accélération	10%	10%	10%	3%	0	
Problème en début de production	15%	40%	45%	30%	10%	10%
Lié à vitesse	12%	35%	35%	15%	3%	
Lié à accélération	3%	10%				
Problème en milieu de production	5%	13%	25%	12%	5%	3%
Lié à vitesse	3%	13%	15%		3%	
Lié à accélération	3%	3%	10%	3%		
Problème en fin de production	5%	6%			3%	
Lié à vitesse	5%	3%			3%	
Lié à accélération	3%					
FORME GRAPHIQUE						
Périodique	50%	55%	80%	65%	55%	70%
Périodique et continue	35%	45%	30%	30%	35%	15%
Périodique et discontinue	10%	5%	30%	30%	10%	40%
Périodique et disjointe	5%	3%	20%	5%	10%	13%
Apériodique et jointe	25%	25%	5%	12%	20%	30%
Nombre de formes graphiques : 1	75%	80%	80%	75%	80%	100%
2	25%	20%	20%	20%	20%	
3				3%		
Taille : Grand	12%	50%	35%	50%	20%	15%
Moyen	50%	45%	45%	40%	60%	55%
Petit	40%		15%	10%	20%	30%
Moyenne-petite			5%			
Grande-petite						
Petite-grande						
- Evolution : Constante	70%	50%	60%	70%	90%	90%
Croissante	15%	30%	20%	20%	5%	3%
Décroissante	10%	15%	10%	3%	3%	

- Traitement de l'espace : Aligné	85%	45%	75%	70%	95%	90%
Diffus	12%	30%	25%	30%	3%	10%
Sur place		20%			3%	3%
- Graphisme Joint	90%	90%	50%	85%	60%	85%
Disjoint	12%	15%	10%	15%	10%	15%
Joint-disjoint			40%		30%	
Disjoint-joint						
Continu	70%	100%	45%	80%	35%	60%
Discontinu	30%		55%	15%	60%	40%
Continu /arrêt						
Arrêt/continu				3%		
SYNCHRONISATION						
Intention + Synchronie	75%	60%	60%	50%	90%	45%
Intention de synchronisation	75%	55%	40%	25%	85%	20%
Synchronie		5%	20%	25%	5%	25%
Asynchrone	15%	20%	20%	12%		14
Désynchronisation		10%		10	3%	5%
Synchronisation	5%	10%	20%	10%	5%	5%
- Un seul élément de synchronisation :						
Pulsation				65%		10%
Frappe		60%	60%	20%	40%	40%
Élément indéterminé	5%	20%	25%	3%	60%	
Demi-pulsation						3%
Intensité ou hauteur	45%				3%	
1 pulsation sur 2						3%
- Principal élément de synchronisation :						
Pulsation				65%		15%
Frappes		60%	60%	20%	40%	45%
Intensité	80%				3%	
Élément instable						
Élément indéterminé	5%	20%	25%	3%	60%	
- Deux éléments de synchronisation :						
Frappe puis intensité						
Pulsation puis ½ pulsation						
Frappes puis fréquence de frappes						
Fréquence de frappes puis frappes						
Pulsation puis fréquence de frappes						
Demi-pulsation puis pulsation						

Tableau 111: Données graphiques suivant les IOI courts (R10, R12, R5, R6) versus longs (R9, R1)

6.3.2 Irrégularité *versus* régularité de la structure rythmique

Irrégularité de/dans la structure rythmique

Irrégularité de la structure R21 Cycle tronqué, irrégularité dans la structure R20 Syncope :

	RYTHME					
GRAPHISME	R20 Syncope	R21 Cycle tronqué	R2 Galop	R3 Grand galop	R5 Elan- saut	R6 Tourne r
Nombre de productions	33	32	33	33	33	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE						
Patterns cinétiques	70%	45%	75%	90%	75%	70%
Vitesse élevée	20%	13%	5%	40%	60% ++	20%
Vitesse irrégulière	30%	60%	10%	5%	25%	30%
Accélération	5%	3%	25%	25%	20%	5%
Décélération			3%	3%		3%
Problème de mesure de vitesse	45%	35%	20%	40%	70% +	40%
Problème lié à vitesse élevée	15%	10%	3%	35%	50% ++	15%
Problème lié à forte accélération	0	0		15%	10%	3%
Problème en début de production Lié à vitesse Lié à accélération	20% 10%	15% 3%	5%	15% 12% 3%	45% 35%	30% 15%
Problème en milieu de production Lié à vitesse Lié à accélération	15% 3%	5%	5% 3%	10% 10% 3%	25% 15% 10%	12% 3%
Problème en fin de production Lié à vitesse Lié à accélération	10% 3%	10% 5%	10%	15% 12% 10%		
FORME GRAPHIQUE						
Périodique	70%	50%	50%	75%	80%	65%
Périodique et continue	35%	20%	20%	45%	30%	30%
Périodique et discontinue	30%	25%	20%	15%	30%	30%
Périodique et disjointe	3%	3%	10%	15%	20%	5%
Apériodique et jointe	10%	20%	20%	10%	5%	12%
Nombre de formes graphiques : 1	75%	70%	70%	85%	80%	75%
2	20%	25%	20%	15%	20%	20%
3	5%					3%
Taille : Grand	40%	45%	20%	35%	35%	50%
Moyen	55%	50%	45%	45%	45%	40%
Petit	5%	5%	25%	20%	15%	10%
Moyenne-petite					5%	
Grande-petite						
Petite-grande						
- Evolution : Constante	90%	90%	90%	70%	60%	70%
Croissante	10%	10%	10%	25%	20%	20%
Décroissante			3%	5%	10%	3%
- Traitement de l'espace :	85%	70%	80%	80%	75%	70%

Aligné						
Diffus	15%	25%	15%	20%	25%	30%
Sur place		3%	3%			
- Graphisme Joint	90%	90%	85%	80%	50%	85%
Disjoint	3%	12%	15%	20%	10%	15%
Joint-disjoint					40%	
Disjoint-joint						
Continu	35%	40%	60%	75%	45%	80%
Discontinu	50%	45%	40%	25%	55%	15%
Continu /arrêt	10%	10%				
Arrêt/continu	10%	5%				3%
SYNCHRONISATION						
Intention + Synchronie	60%	40%	50%	50%	60%	50%
Intention de synchronisation	50%	30%	30%	10%	40%	25%
Synchronie	10%	10%	25%	40%	20%	25%
Asynchrone	25%	30%	20%	20%	20%	12%
Désynchronisation	5%	12%	20%	12%		10%
Synchronisation	10%	15%	10%	20%	20%	10%
- Un seul élément de synchronisation :						
Pulsation	20%	12%	60%	70%		65%
Frappe	30%	50%			60%	20%
Élément indéterminé					25%	3%
Demi-pulsation	10%	5%	3%			
Intensité ou hauteur						
1 pulsation sur 2			5%	3%		
- Principal élément de synchronisation :						
Pulsation	45%	25%	80%	80%		65%
Frappes	40%	55%	3%		60%	20%
Intensité						
Élément instable	10%		10%	5%		
Élément indéterminé	3%				25%	3%
- Deux éléments de synchronisation :						
Frappe puis intensité						
Pulsation puis ½ pulsation	3%		5%	5%		
Frappes puis fréquence de frappes						
Fréquence de frappes puis frappes						
Pulsation puis fréquence de frappes						
Demi-pulsation puis pulsation						

Tableau 112: Données graphiques suivant les irrégularités de/dans la structure (R20, R21) versus régularité de structure (R2, R3, R5, R6)

6.3.3 Effets sur le graphisme de groupements rythmiques

6.3.3.1 Effets de groupement par effet de pause

	RYTHME	
GRAPHISME	R5 Elan-saut	R9 Graphisme pointu
Nombre de productions	33	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE		5
Patterns cinétiques	75%	85%
Vitesse élevée	60% ++	10%
Vitesse irrégulière	25%	
Accélération	20%	3%
Décélération		
Problème de mesure de vitesse	70% +	20%
Problème lié à vitesse élevée	50% ++	10%
Problème lié à forte accélération	10%	0
Problème en début de production	45%	10%
Lié à vitesse	35%	3%
Lié à accélération	0%	
Problème en milieu de production	25%	5%
Lié à vitesse	15%	3%
Lié à accélération	10%	
Problème en fin de production		3%
Lié à vitesse		3%
Lié à accélération		
FORME GRAPHIQUE		
Périodique	80%	55%
Périodique et continue	30%	35%
Périodique et discontinue	30%	10%
Périodique et disjointe	20%	10%
Apériodique et jointe	5%	20%
Nombre de formes graphiques : 1	80%	80%
2	20%	20%
3		
Taille : Grand	35%	20%
Moyen	45%	60%
Petit	15%	20%
Moyenne-petite	5%	
Grande-petite		
Petite-grande		
- Evolution : Constante	60%	90%
Croissante	20%	5%
Décroissante	10%	3%
- Traitement de l'espace : Aligné	75%	95%
Diffus	25%	3%
Sur place		3%
- Graphisme Joint	50% (mini)	60%
Disjoint	10%	10%
Joint-disjoint	40%	30%
Disjoint-joint		
Continu	45%	35%
Discontinu	55% à la fin	60%

Continu /arrêt		
Arrêt/continu		
SYNCHRONISATION		
Intention + Synchronie	60%	90%
Intention de synchronisation	40%	85%
Synchronie	20%	5%
Asynchrone	20%	
Désynchronisation		3%
Synchronisation	20%	5%
- Un seul élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappe	60%	40%
Élément indéterminé	25%	60%
Demi-pulsation		
Intensité ou hauteur		3%
1 pulsation sur 2		
- Principal élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappes	60%	40%
Intensité		3%
Élément instable		
Élément indéterminé	25%	60%
- Deux éléments de synchronisation :		
Frappe puis intensité		
Pulsation puis ½ pulsation		
Frappes puis fréquence de frappes		
Fréquence de frappes puis frappes		
Pulsation puis fréquence de frappes		
Demi-pulsation puis pulsation		

Tableau 113: Données graphiques suivant le groupement rythmique par effet de pause (R5, R9)

6.3.3.2 Effets de groupement par effet de pause et de timbre

	RYTHME	
GRAPHISME	R2 Galop	R19 Retard final
Nombre de productions	33	31
DYNAMIQUE GRAPHIQUE		
Patterns cinétiques	75%	70%
Vitesse élevée	5%	55%
Vitesse irrégulière	10%	13%
Accélération	25%	3%
Décélération	3%	55%
Problème de mesure de vitesse	20%	40%
Problème lié à vitesse élevée	3%	40%
Problème lié à forte accélération		3%
Problème en début de production	5%	40%
Lié à vitesse		3%
Lié à accélération		3%
Problème en milieu de production	5%	3%
Lié à vitesse	3%	
Lié à accélération		
Problème en fin de production	10%	
Lié à vitesse		
Lié à accélération		
FORME GRAPHIQUE		
Périodique	50%	55%
Périodique et continue	20%	40%
Périodique et discontinue	20%	15%
Périodique et disjointe	10%	
Apériodique et jointe	20%	25%
Nombre de formes graphiques : 1	70%	80%
2	20%	15%
3		3%
Taille : Grand	20%	35%
Moyen	45%	60%
Petit	25%	
Moyenne-petite		
Grande-petite		
Petite-grande		
- Evolution : Constante	90%	80%
Croissante	10%	5%
Décroissante	3%	5%
- Traitement de l'espace : Aligné	80%	70%
Diffus	15%	20%
Sur place	3%	10%
- Graphisme Joint	85%	80%
Disjoint	15%	10%
Joint-disjoint		5%
Disjoint-joint		
Continu	60%	70%
Discontinu	40%	5%
Continu /arrêt		15% (fin)
Arrêt/continu		5%
SYNCHRONISATION		

Intention + Synchronie	50%	75%
Intention de synchronisation	30%	60%
Synchrone	25%	13%
Asynchrone	20%	13%
Désynchronisation	20%	20%
Synchronisation	10%	5%
- Un seul élément de synchronisation :		
Pulsation	60%	15%
Frappe		13%
Élément indéterminé		3%
Demi-pulsation	3%	15%
Intensité ou hauteur		
1 pulsation sur 2	5%	3%
- Principal élément de synchronisation :		
Pulsation	80%	70%
Frappes	3%	13%
Intensité		
Élément instable	10%	15%
Élément indéterminé		3%
- Deux éléments de synchronisation :		
Frappe puis intensité		
Pulsation puis ½ pulsation	5%	
Frappes puis fréquence de frappes		
Fréquence de frappes puis frappes		
Pulsation puis fréquence de frappes		3%
Demi-pulsation puis pulsation		

Tableau 114: Données graphiques suivant le groupement par effet de pause comparé à groupement par effet de timbre (R2, R19)

6.3.4 Tempi constants

	RYTHME			
GRAPHISME	R1 Trot	R4 Sept sauts	R2 Galop	R3 Grand galop
Nombre de productions	32	33	33	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	60%	80%	75%	90%
Vitesse élevée		5%	5%	40%
Vitesse irrégulière	30%	25%	10%	5%
Accélération	3%	3%	25%	25%
Décélération		5%	3%	3%
Problème de mesure de vitesse	13%	15%	20%	40%
Problème lié à vitesse élevée		3%	3%	35%
Problème lié à forte accélération		3%		15%
Problème en début de production	10%	5%	5%	15%
Lié à vitesse		3%		12%
Lié à accélération		3%		3%
Problème en milieu de production	3%	5%	5%	10%
Lié à vitesse			3%	10%
Lié à accélération				3%
Problème en fin de production		3%	10%	15%
Lié à vitesse				12%
Lié à accélération				10%
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	70%	70%	50%	75%
Périodique et continue	15%	45%	20%	45%
Périodique et discontinue	40%	20%	20%	15%
Périodique et disjointe	13%	5%	10%	15%
Apériodique et jointe	30%	10%	20%	10%
Nombre de formes graphiques : 1	100%	80%	70%	85%
2		12%	20%	15%
3		5%		
Taille : Grand	15%	40%	20%	35%
Moyen	55%	55%	45%	45%
Petit	30%	5%	25%	20%
Moyenne-petite				
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	90%	45%	90%	70%
Croissante	3%	50%	10%	25%
Décroissante		3%	3%	5%
- Traitement de l'espace : Aligné	90%	80%	80%	80%
Diffus	10%	20%	15%	20%
Sur place	3%		3%	
- Graphisme Joint	85%	85%	85%	80%
Disjoint	15%	15%	15%	20%
Joint-disjoint				
Disjoint-joint				
Continu	60%	65%	60%	75%
Discontinu	40%	35%	40%	25%
Continu /arrêt				
Arrêt/continu				
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchronie	45%	45%	50%	50%
Intention de synchronisation	20%	10%	30%	10%

Synchrone	25%	35%	25%	40%
Asynchrone	50%	20%	20%	20%
Désynchronisation	5%	20%	20%	12%
Synchronisation	5%	15%	10%	20%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation	10%	65%	60%	70%
Frappe	40%			
Élément indéterminé				
Demi-pulsation	3%	3%	3%	
Intensité ou hauteur				
1 pulsation sur 2	3%		5%	3%
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation	15%	90%	80%	80%
Frappes	45%		3%	
Intensité				
Élément instable		10%	10%	5%
Élément indéterminé				
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation			5%	5%
Frappes puis fréquence de frappes				
Fréquence de frappes puis frappes				
Pulsation puis fréquence de frappes				
Demi-pulsation puis pulsation		5%		

Tableau 115: Données graphiques suivant le tempo, de *lento* à *presto* (R1, R4, R2, R3)

6.3.5 Variations continues de tempo

6.3.5.1 Effets de tempo accélérant versus ralentissant régulièrement

	RYTHME		
GRAPHISME	R7 Tourner accélérant	en R17 Cycle <i>accelerando</i>	R18 Cycle <i>rallentando</i>
Nombre de productions	32	32	33
DYNAMIQUE GRAPHIQUE			
Patterns cinétiques	75%	70%	65%
Vitesse élevée	60%	50%	50%
Vitesse irrégulière	15%	15%	5%
Accélération	90%	70%	10%
Décélération			85%
Problème de mesure de vitesse	40%	45%	35%
Problème lié à vitesse élevée	25%	30%	30%
Problème lié à forte accélération	40%	30%	5%
Problème en début de production	20%	30%	30%
Lié à vitesse	20%	25%	25%
Lié à accélération	20%	20%	3%
Problème en milieu de production	3%	10%	3%
Lié à vitesse		3%	3%
Lié à accélération	3%	5%	3%
Problème en fin de production	12%	3%	
Lié à vitesse	3%	3%	
Lié à accélération	12%	3%	
FORME GRAPHIQUE			
Périodique	80%	55%	55%
Périodique et continue	55%	35%	45%
Périodique et discontinue	20%	20%	10%
Périodique et disjointe	3%		
Apériodique et jointe	12%	12%	20%
Nombre de formes graphiques :			
1	90%	70%	80%
2	12%	30%	20%
3		3%	3%
Taille :			
Grand	60%	35%	40%
Moyen	40%	55%	50%
Petit	3%	10%	5%
Moyenne-petite			
Grande-petite			
Petite-grande			
- Evolution : Constante	45%	60%	35%
Croissante	45%	40%	5%
Décroissante	10%		50%
- Traitement de l'espace : Aligné	70%	75%	75%
Diffus	30%	5%	20%
Sur place	3%	15%	5%
- Graphisme Joint	80%	90%	95%
Disjoint	20%	3%	
Joint-disjoint		3%	3%
Disjoint-joint			
Continu	85%	95%	80%
Discontinu	10%	5%	10%
Continu /arrêt			10%

Arrêt/continu	5%		
SYNCHRONISATION			
Intention + Synchronie	30%	65%	75%
Intention de synchronisation	10%	45%	60%
Synchronie	20%	20%	15%
Asynchrone	20%	3%	10%
Désynchronisation	40%	30%	5%
Synchronisation	10%	3%	5%
- Un seul élément de synchronisation :			
Pulsation	80%	60%	35%
Frappe		5%	3%
Élément indéterminé			
Demi-pulsation		5%	3%
Intensité ou hauteur			
1 pulsation sur 2		3%	3%
- Principal élément de synchronisation :			
Pulsation	80%	85%	80%
Frappes	3%	5%	20%
Intensité			
Élément instable	3%	10%	35%
Élément indéterminé			
- Deux éléments de synchronisation :			
Frappe puis intensité			
Pulsation puis ½ pulsation			3%
Frappes puis fréquence de frappes			
Fréquence de frappes puis frappes			
Pulsation puis fréquence de frappes		3%	5%
Demi-pulsation puis pulsation		5%	10%

Tableau 116: Données graphiques suivant des tempi accélérant *versus* décélérant (R7, R17, R18)

6.3.5.2 *Accelerando versus rallentando*

	RYTHME	
	R15 <i>Accelerando</i>	R16 <i>Rallentando</i>
GRAPHISME		
Nombre de productions	32	31
DYNAMIQUE GRAPHIQUE		
Patterns cinétiques	80%	85%
Vitesse élevée	75%	60%
Vitesse irrégulière	3%	5%
Accélération	90%	
Décélération	5%	90%
Problème de mesure de vitesse	55%	50%
Problème lié à vitesse élevée	50%	50%
Problème lié à forte accélération	50%	
Problème en début de production	30%	60%
Lié à vitesse	15%	40%
Lié à accélération	10%	
Problème en milieu de production	10%	5%
Lié à vitesse	10%	5%
Lié à accélération	10%	
Problème en fin de production	30%	3%
Lié à vitesse	25%	
Lié à accélération	30%	
FORME GRAPHIQUE		
Périodique	55%	65%
Périodique et continue	25%	25%
Périodique et discontinue	12%	30%
Périodique et disjointe	15%	5%
Apériodique et jointe	15%	10%
Nombre de formes graphiques : 1	70%	75%
2	25%	20%
3	3%	3%
Taille : Grand	40%	60%
Moyen	50%	40%
Petit	5%	3%
Moyenne-petite		
Grande-petite		
Petite-grande		
- Evolution : Constante	30%	50%
Croissante	45%	5%
Décroissante	20%	40%
- Traitement de l'espace : Aligné	65%	55%
Diffus	20%	35%
Sur place	5%	10%
- Graphisme Joint	80%	75%
Disjoint	20%	5%
Joint-disjoint		12%
Disjoint-joint		
Continu	75%	50%
Discontinu	3%	12%
Continu /arrêt	3%	35%
Arrêt/continu	20%	
SYNCHRONISATION		
Intention + Synchronie	70%	80%
Intention de synchronisation	65%	75%
Synchronie	3%	3%

Asynchrone	3%	
Désynchronisation	20%	5%
Synchronisation	10%	15%
- Un seul élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappe	55%	60%
Élément indéterminé		
Demi-pulsation		
Intensité ou hauteur		
1 pulsation sur 2		
- Principal élément de synchronisation :		
Pulsation		
Frappes	95%	100%
Intensité		
Élément instable	25%	30%
Élément indéterminé		
- Deux éléments de synchronisation :		
Frappe puis intensité		
Pulsation puis ½ pulsation		
Frappes puis fréquence de frappes	25%	3%
Fréquence de frappes puis frappes		25%
Pulsation puis fréquence de frappes		
Demi-pulsation puis pulsation		

Tableau 117: Données graphiques suivant des tempi *accelerando* versus *rallentando* (R15, R16)

6.3.6 Variations discontinues de tempo

6.3.6.1 Effets d'IOI croissants ou décroissants irrégulièrement

Evolution régulière des IOI pour R15 et R16 et irrégulière pour R22 et R23 :

	RYTHME			
GRAPHISME	R15 <i>Accelerando</i>	R16 <i>Rallentando</i>	R22 Cycle enrichi	R23 Cycle épuré
Nombre de productions	32	31	33	31
DYNAMIQUE GRAPHIQUE				
Patterns cinétiques	80%	85%	65%	60%
Vitesse élevée	75%	60%	30%	50%
Vitesse irrégulière	3%	5%	30%	25%
Accélération	90%		65%	5%
Décélération	5%	90%		80%
Problème de mesure de vitesse	55%	50%	30%	40%
Problème lié à vitesse élevée	50%	50%	10%	35%
Problème lié à forte accélération	50%		25%	3%
Problème en début de production	30%	60%	15%	20%
Lié à vitesse	15%	40%	3%	20%
Lié à accélération	10%		10%	
Problème en milieu de production	10%	5%	3%	10%
Lié à vitesse	10%	5%		5%
Lié à accélération	10%			
Problème en fin de production	30%	3%	15%	10%
Lié à vitesse	25%		2%	2%
Lié à accélération	30%		15%	1%
FORME GRAPHIQUE				
Périodique	55%	65%	35%	40%
Périodique et continue	25%	25%	20%	30%
Périodique et discontinue	12%	30%	15%	10%
Périodique et disjointe	15%	5%		
Apériodique et jointe	15%	10%	10%	10%
Nombre de formes graphiques : 1	70%	75%	50%	50%
2	25%	20%	40%	30%
3	3%	3%	5%	20%
Taille : Grand	40%	60%	50%	60%
Moyen	50%	40%	50%	35%
Petit	5%	3%	3%	3%
Moyenne-petite				
Grande-petite				
Petite-grande				
- Evolution : Constante	30%	50%	80%	60%
Croissante	45%	5%	20%	3%
Décroissante	20%	40%	3%	35%
- Traitement de l'espace : Aligné	65%	55%	70%	60%
Diffus	20%	35%	25%	30%
Sur place	5%	10%	3%	10%
- Graphisme Joint	80%	75%	90%	65%
Disjoint	20%	5%	12%	10%
Joint-disjoint		12%		
Disjoint-joint				
Continu	75%	50%	20%	45%

Discontinu	3%	12%	45%	3%
Continu /arrêt	3%	35%	3%	50%
Arrêt/continu	20%		30%	
SYNCHRONISATION				
Intention + Synchrone	70%	80%	80%	65%
Intention de synchronisation	65%	75%	70%	60%
Synchrone	3%	3%	10%	5%
Asynchrone	3%		10%	5%
Désynchronisation	20%	5%	3%	20%
Synchronisation	10%	15%	3%	3%
- Un seul élément de synchronisation :				
Pulsation			20%	12%
Frappe	55%	60%	3%	
Élément indéterminé			10%	3%
Demi-pulsation			15%	25%
Intensité ou hauteur				
1 pulsation sur 2				
- Principal élément de synchronisation :				
Pulsation			70%	70%
Frappes	95%	100%	35%	35%
Intensité				
Élément instable	25%	30%	45%	45%
Élément indéterminé				3%
- Deux éléments de synchronisation :				
Frappe puis intensité				
Pulsation puis ½ pulsation			5%	3%
Frappes puis fréquence de frappes	25%	3%	10%	
Fréquence de frappes puis frappes		25%		12%
Pulsation puis fréquence de frappes			15%	
Demi-pulsation puis pulsation				3%

Tableau 118: Données graphiques suivant les variations d'IOI croissants/décroissants régulièrement (R15 *versus* R16) ou irrégulièrement (R22 *versus* R23)

6.3.6.2 Effets de deux tempi successifs durant l'item

	RYTHME
GRAPHISME	R24 2 tempi (70-140 bpm)
Nombre de productions	30
DYNAMIQUE GRAPHIQUE	
Patterns cinétiques	90%
Vitesse élevée	85%
Vitesse irrégulière	10%
Accélération	90%
Décélération	
Problème de mesure de vitesse	55%
Problème lié à vitesse élevée	55%
Problème lié à forte accélération	50%
Problème en début de production	25%
Lié à vitesse	25%
Lié à accélération	25%
Problème en milieu de production	20%
Lié à vitesse	20%
Lié à accélération	20%
Problème en fin de production	10%
Lié à vitesse	2%
Lié à accélération	2%
FORME GRAPHIQUE	
Périodique	25%
Périodique et continue	20%
Périodique et discontinue	3%
Périodique et disjointe	3%
Apériodique et jointe	25%
Nombre de formes graphiques : 1	50%
2	15%
3	35%
Taille : Grand	50%
Moyen	40%
Petit	5%
Moyenne-petite	
Grande-petite	
Petite-grande	
- Evolution : Constante	40%
Croissante	50%
Décroissante	5%
- Traitement de l'espace : Aligné	50%
Diffus	35%
Sur place	10%
- Graphisme Joint	85%
Disjoint	3%
Joint-disjoint	
Disjoint-joint	
Continu	50%
Discontinu	
Continu /arrêt	3%
Arrêt/continu	45%
SYNCHRONISATION	
Intention + Synchrone	75%
Intention de synchronisation	65%

Synchrone	10%
Asynchrone	10%
Désynchronisation	3%
Synchronisation	10%
- Un seul élément de synchronisation :	
Pulsation	35%
Frappe	3%
Élément indéterminé	
Demi-pulsation	3%
Intensité ou hauteur	
1 pulsation sur 2	
- Principal élément de synchronisation :	
Pulsation	90%
Frappes	15%
Intensité	
Élément instable	45%
Élément indéterminé	
- Deux éléments de synchronisation :	
Frappe puis intensité	
Pulsation puis ½ pulsation	15%
Frappes puis fréquence de frappes	3%
Fréquence de frappes puis frappes	
Pulsation puis fréquence de frappes	10%
Demi-pulsation puis pulsation	5%

Tableau 119: Données graphiques suivant deux tempi successifs (R24)

6.3.6.3 Effets d'IOI croissants-décroissants durant l'item

	RYTHME
GRAPHISME	R11 Graphisme Arche
Nombre de productions	31
DYNAMIQUE GRAPHIQUE	
Patterns cinétiques	65%
Vitesse élevée	45%
Vitesse irrégulière	30%
Accélération	40%
Décélération	
Problème de mesure de vitesse	40%
Problème lié à vitesse élevée	40%
Problème lié à forte accélération	5%
Problème en début de production	20%
Lié à vitesse	20%
Lié à accélération	
Problème en milieu de production	13%
Lié à vitesse	13%
Lié à accélération	
Problème en fin de production	3%
Lié à vitesse	
Lié à accélération	
FORME GRAPHIQUE	
Périodique	50%
Périodique et continue	45%
Périodique et discontinue	
Périodique et disjointe	3%
Apériodique et jointe	25%
Nombre de formes graphiques : 1	80%
2	20%
3	
Taille : Grand	50%
Moyen	40%
Petit	10%
Moyenne-petite	
Grande-petite	
Petite-grande	
- Evolution : Constante	60%
Croissante	40%
Décroissante	
- Traitement de l'espace : Aligné	60%
Diffus	30%
Sur place	15%
- Graphisme Joint	95%
Disjoint	10%
Joint-disjoint	
Disjoint-joint	
Continu	100%
Discontinu	
Continu /arrêt	
Arrêt/continu	
SYNCHRONISATION	

Intention + Synchronie	75%
Intention de synchronisation	75%
Synchronie	
Asynchrone	15%
Désynchronisation	5%
Synchronisation	
- Un seul élément de synchronisation :	
Pulsation	
Frappe	60%
Élément indéterminé	20%
Demi-pulsation	
Intensité ou hauteur	
1 pulsation sur 2	
- Principal élément de synchronisation :	
Pulsation	
Frappes	70%
Intensité	
Élément instable	
Élément indéterminé	20%
- Deux éléments de synchronisation :	
Frappe puis intensité	
Pulsation puis ½ pulsation	
Frappes puis fréquence de frappes	
Fréquence de frappes puis frappes	
Pulsation puis fréquence de frappes	
Demi-pulsation puis pulsation	

Tableau 120: Données graphiques suivant les variations d'IOI décroissants et décroissants (R11)

6.3.7 Effets de déviations du contexte métrique : retard final

	RYTHME
GRAPHISME	R19 Retard final
Nombre de productions	31
DYNAMIQUE GRAPHIQUE	
Patterns cinétiques	70%
Vitesse élevée	55%
Vitesse irrégulière	13%
Accélération	3%
Décélération	55%
Problème de mesure de vitesse	40%
Problème lié à vitesse élevée	40%
Problème lié à forte accélération	3%
Problème en début de production	40%
Lié à vitesse	3%
Lié à accélération	3%
Problème en milieu de production	3%
Lié à vitesse	
Lié à accélération	
Problème en fin de production	
Lié à vitesse	
Lié à accélération	
FORME GRAPHIQUE	
Périodique	55%
Périodique et continue	40%
Périodique et discontinue	15%
Périodique et disjointe	
Apériodique et jointe	25%
Nombre de formes graphiques : 1	80%
2	15%
3	3%
Taille : Grand	35%
Moyen	60%
Petit	
Moyenne-petite	
Grande-petite	
Petite-grande	
- Evolution : Constante	80%
Croissante	5%
Décroissante	5%
- Traitement de l'espace : Aligné	70%
Diffus	20%
Sur place	10%
- Graphisme Joint	80%
Disjoint	10%
Joint-disjoint	5%
Disjoint-joint	
Continu	70%
Discontinu	5%
Continu /arrêt	15% (fin)
Arrêt/continu	5%
SYNCHRONISATION	
Intention + Synchrone	75%

Intention de synchronisation	60%
Synchrone	13%
Asynchrone	13%
Désynchronisation	20%
Synchronisation	5%
- Un seul élément de synchronisation :	
Pulsation	15%
Frappe	13%
Élément indéterminé	3%
Demi-pulsation	15%
Intensité ou hauteur	
1 pulsation sur 2	3%
- Principal élément de synchronisation :	
Pulsation	70%
Frappes	13%
Intensité	
Élément instable	15%
Élément indéterminé	3%
- Deux éléments de synchronisation :	
Frappe puis intensité	
Pulsation puis ½ pulsation	
Frappes puis fréquence de frappes	
Fréquence de frappes puis frappes	
Pulsation puis fréquence de frappes	3%
Demi-pulsation puis pulsation	

Tableau 121: Données graphiques suivant le retard final (R19)

7 Annexe VII : Valeur maximale de corrélation par seuil de la vitesse graphique et de l'intensité perçue, par rythme

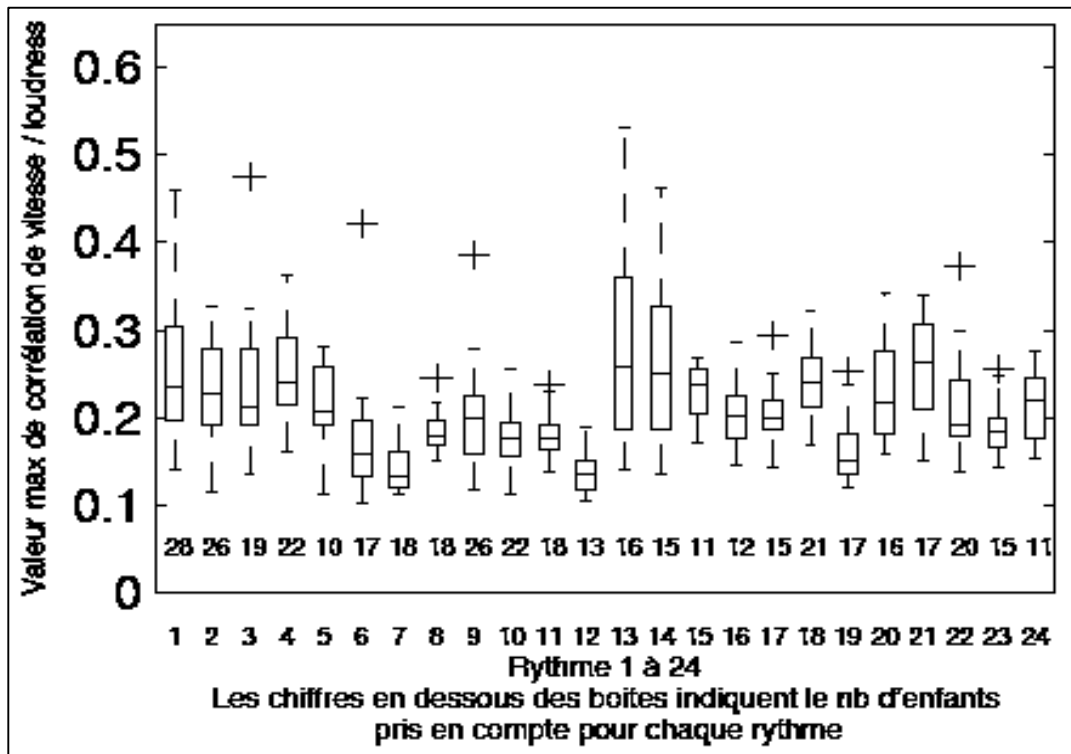


Figure 194: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.1) entre vitesse graphique et intensité perçue. Nombre de productions par rythme

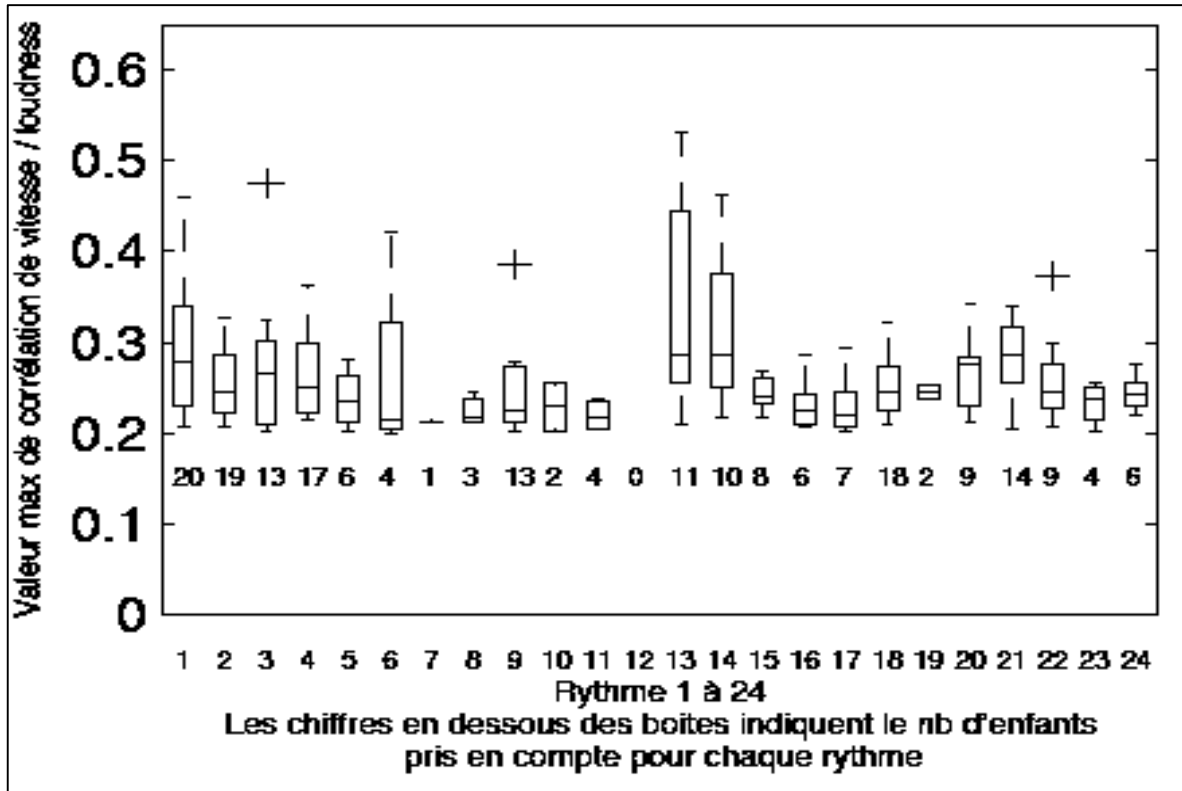


Figure 195: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.2) entre vitesse graphique et intensité perçue. Nombre de productions par rythme

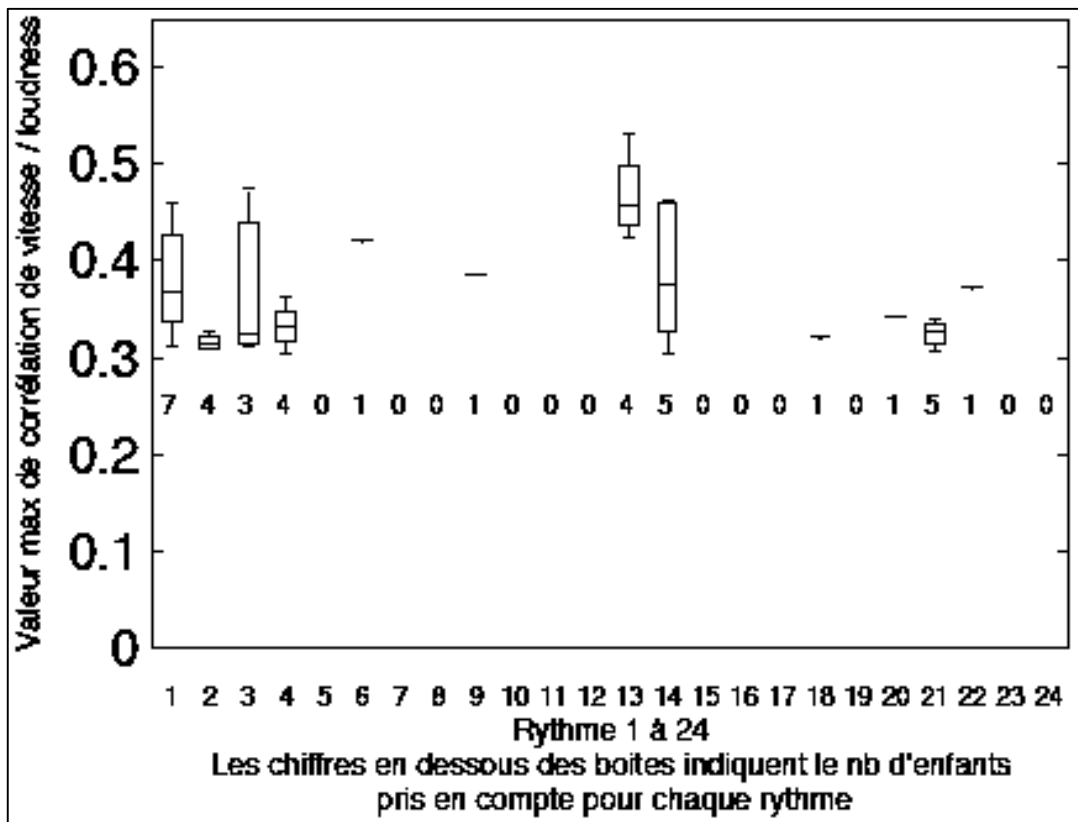


Figure 196: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.3) entre vitesse graphique et intensité perçue. Nombre de productions par rythme

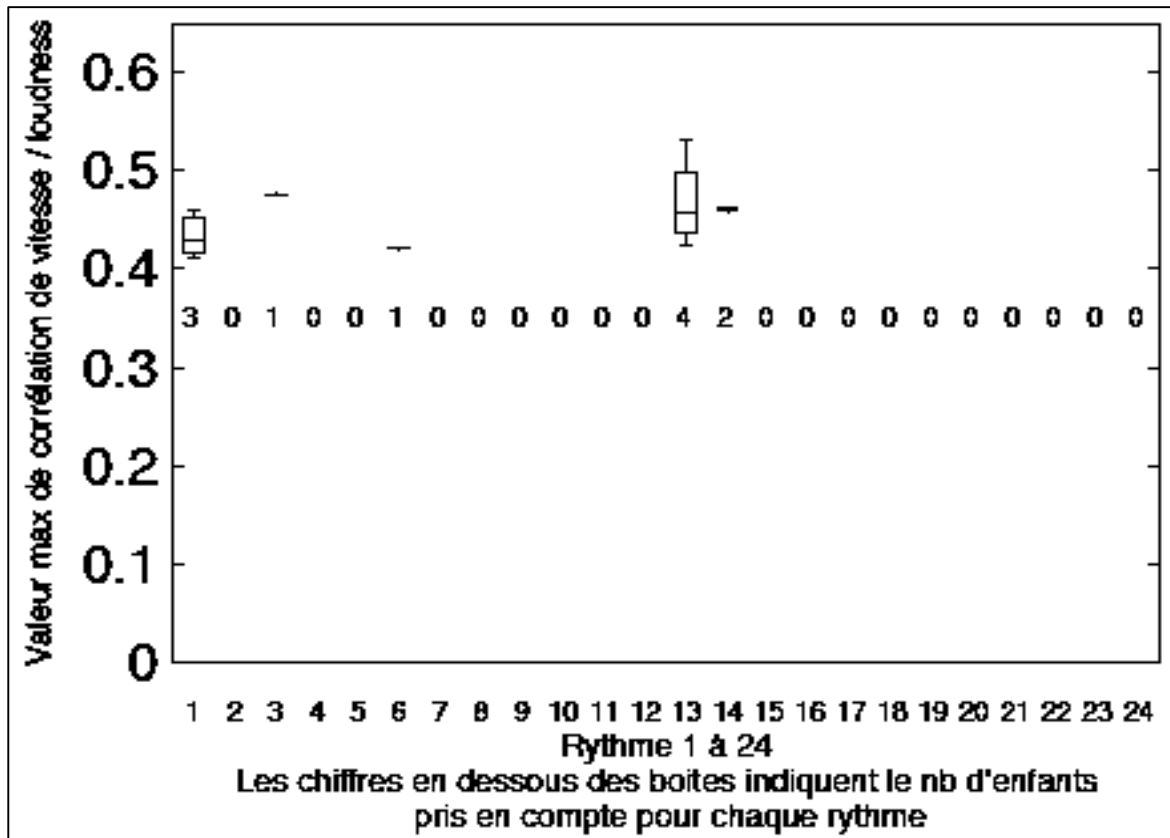
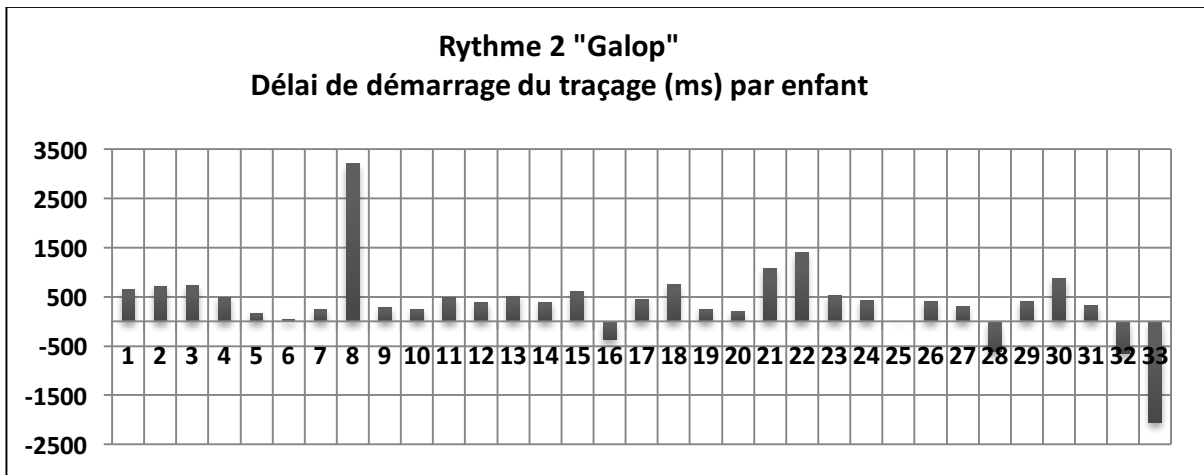
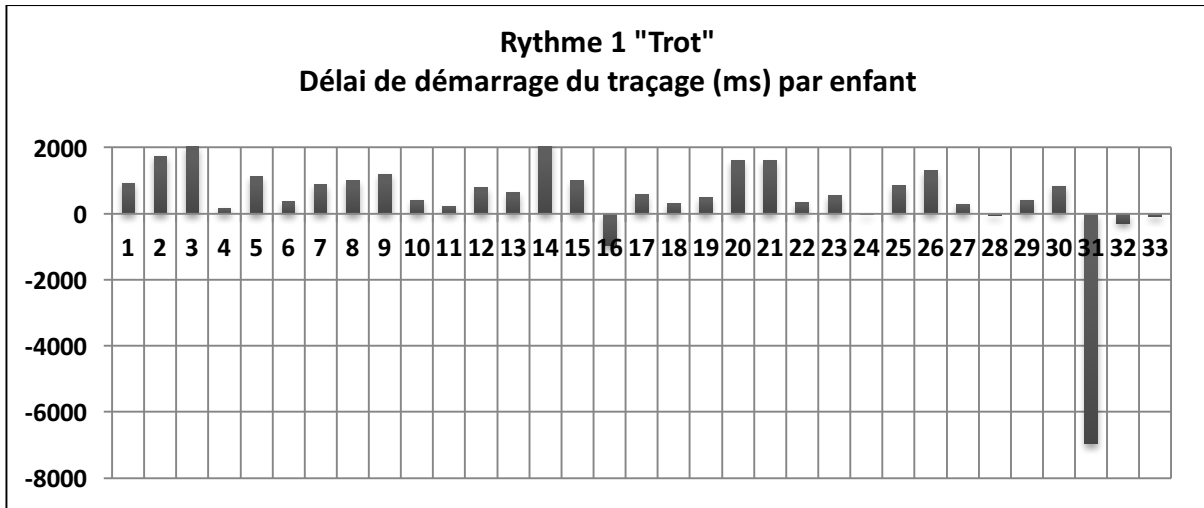


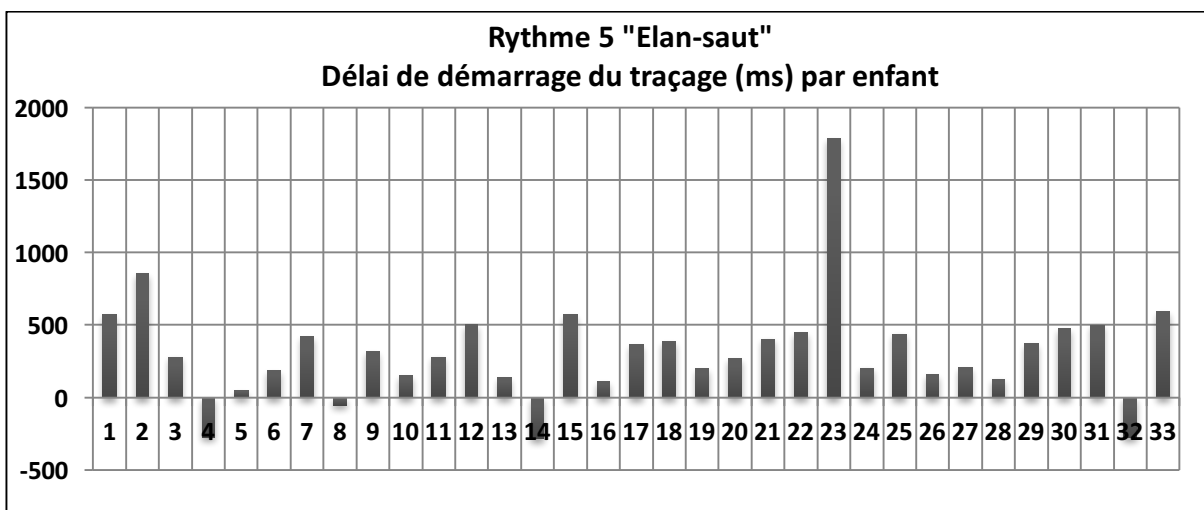
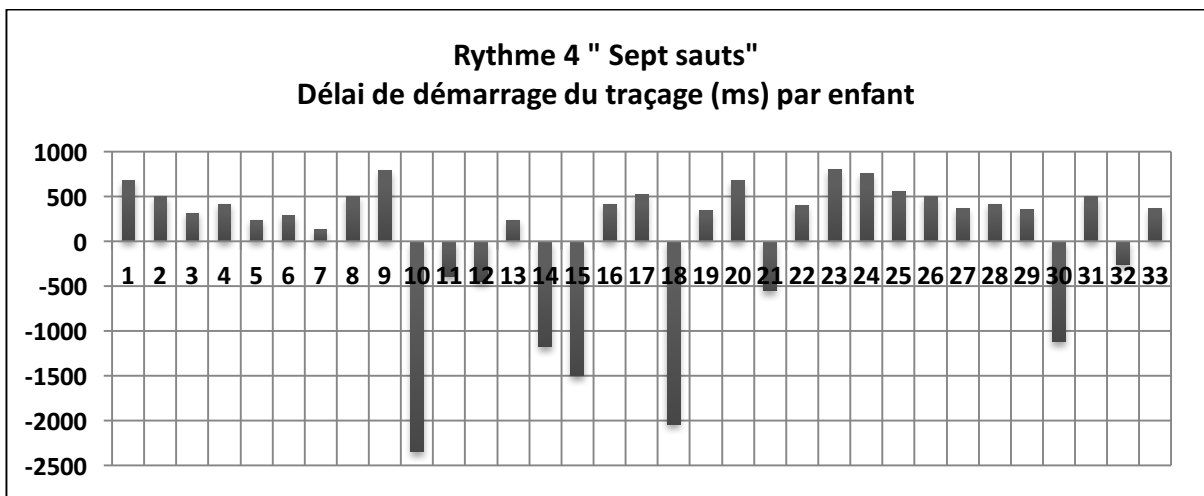
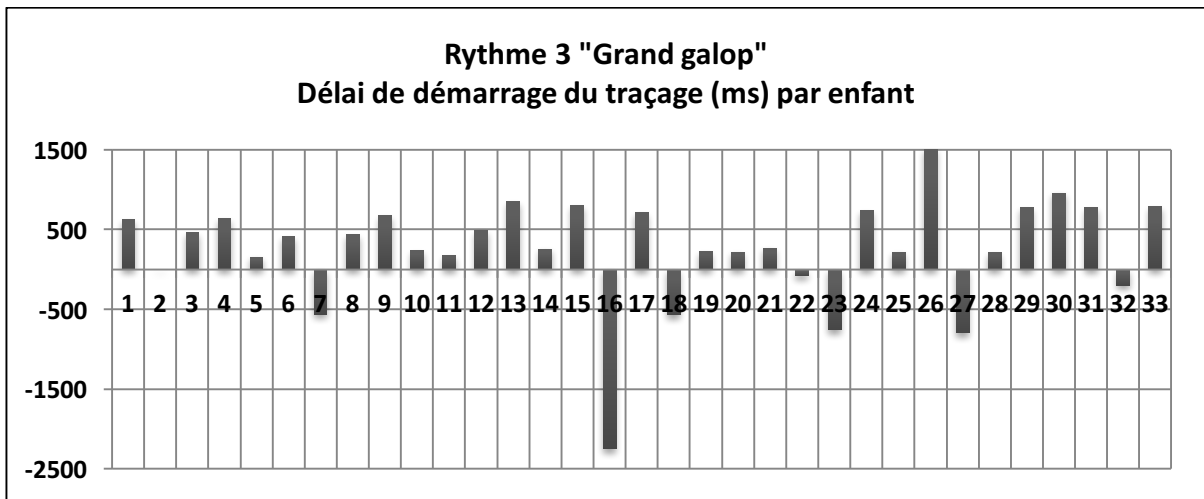
Figure 197: Valeur maximale de corrélation (seuil 0.4) entre vitesse graphique et intensité perçue. Nombre de productions par rythme

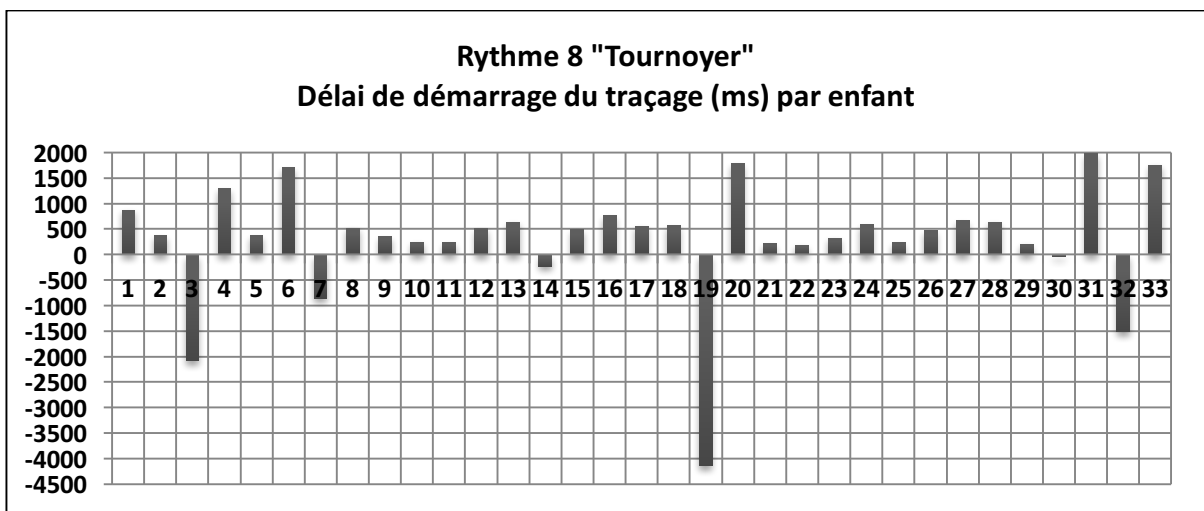
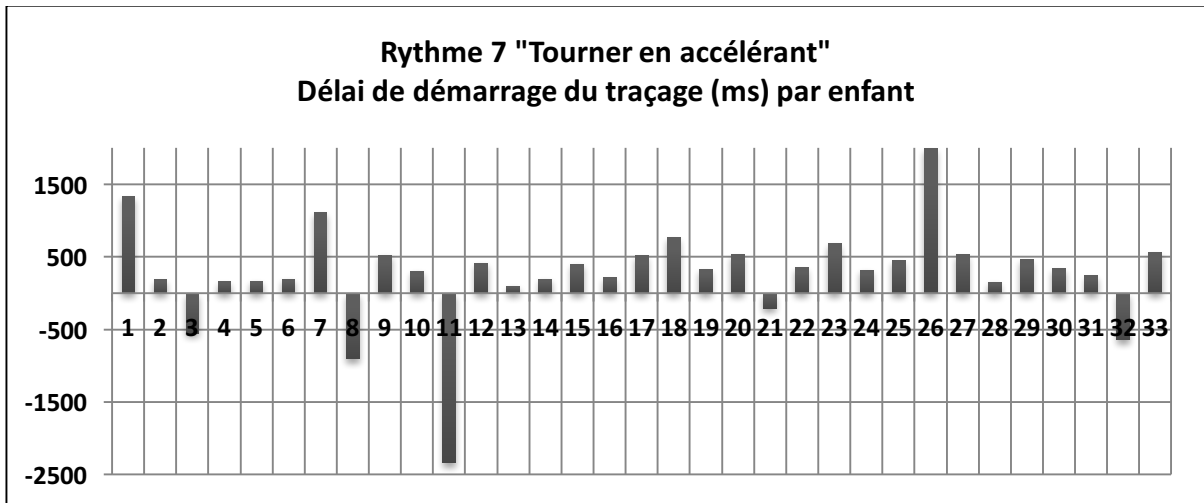
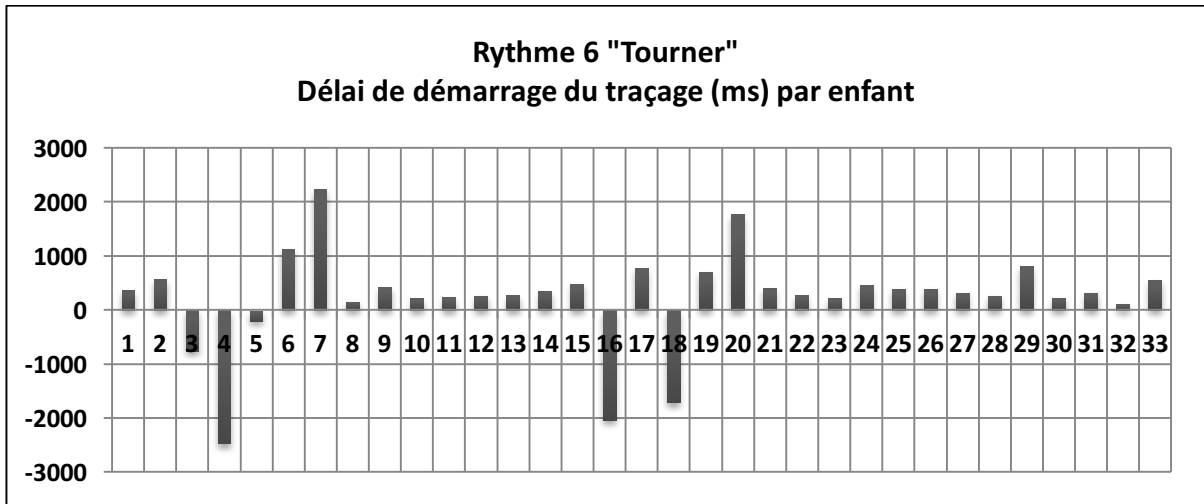
8 Annexe VIII : Délais de démarrage du traçage selon les sujets, par rythme

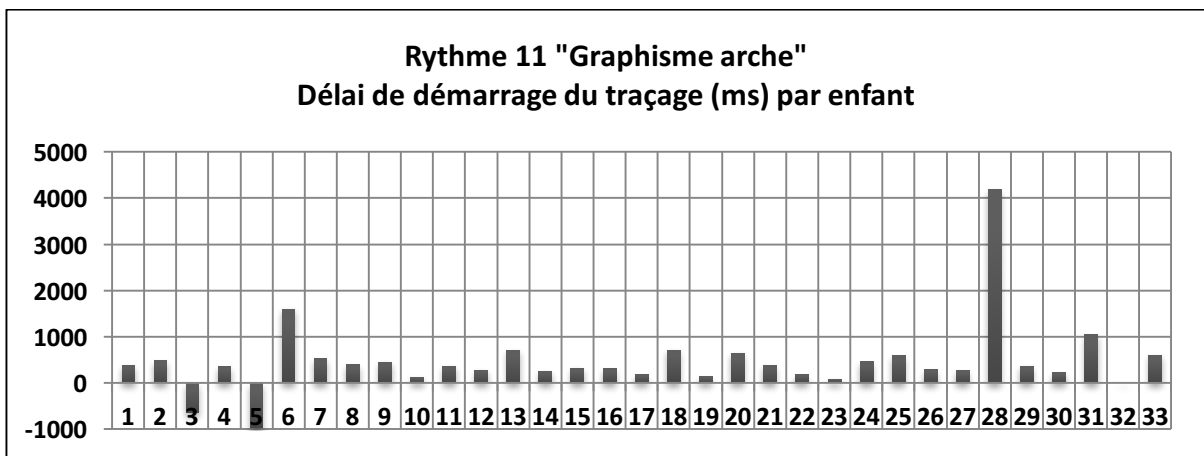
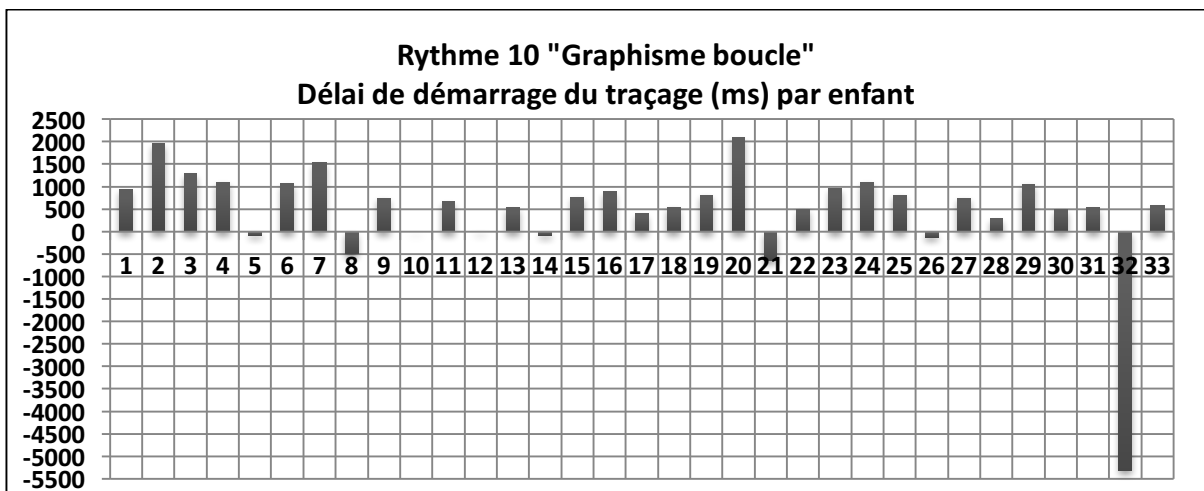
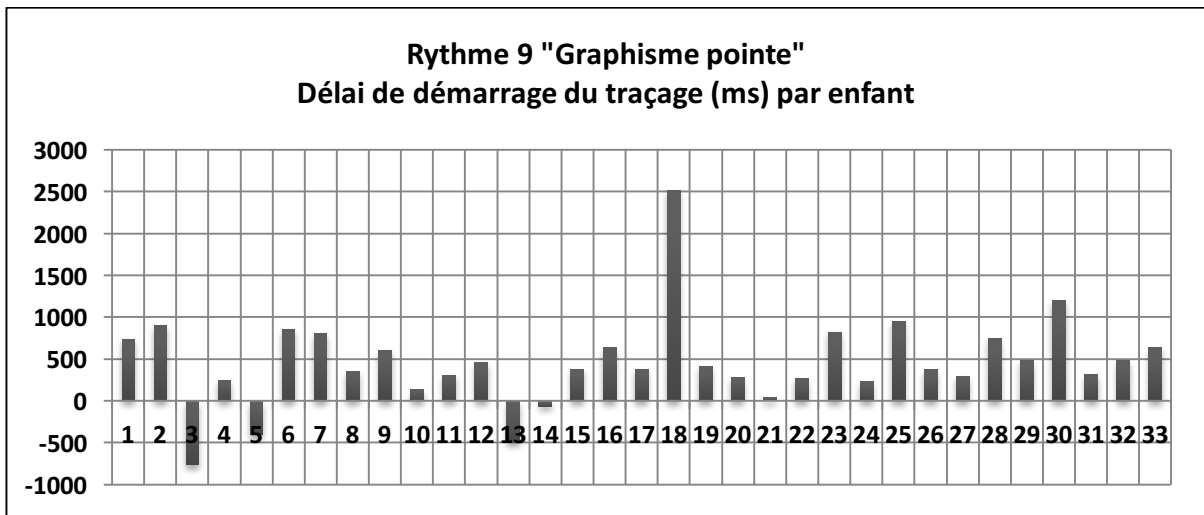
En abscisse : les 33 sujets

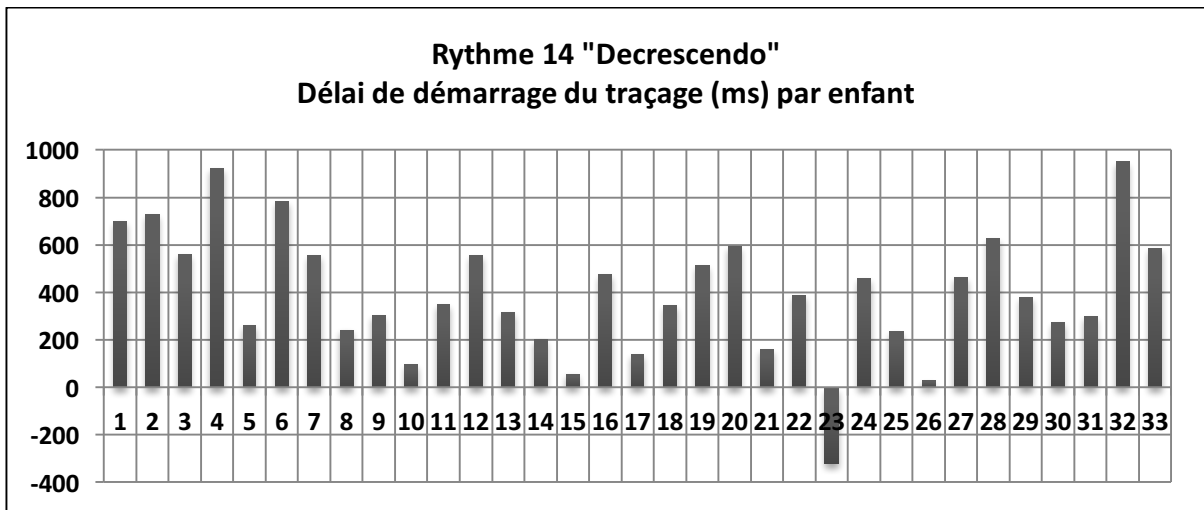
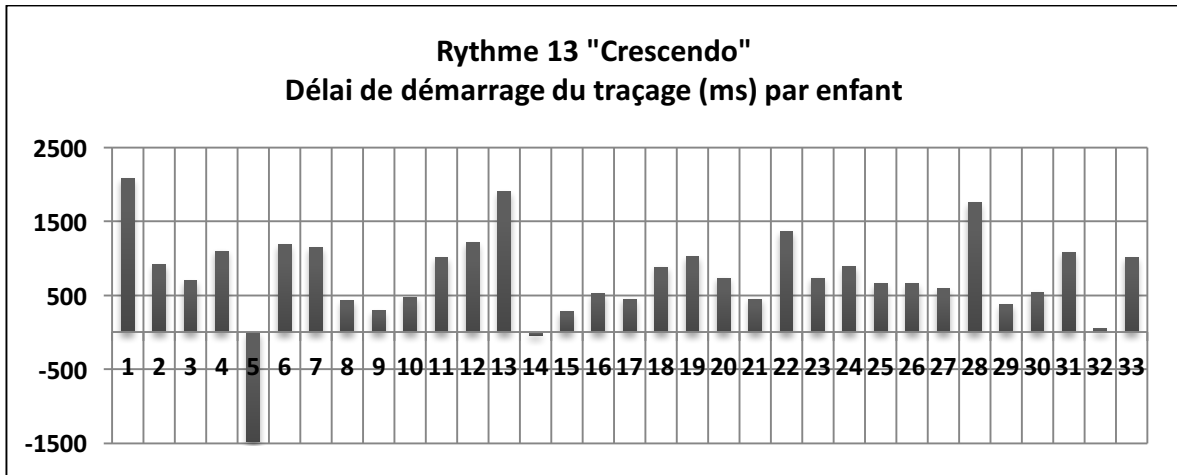
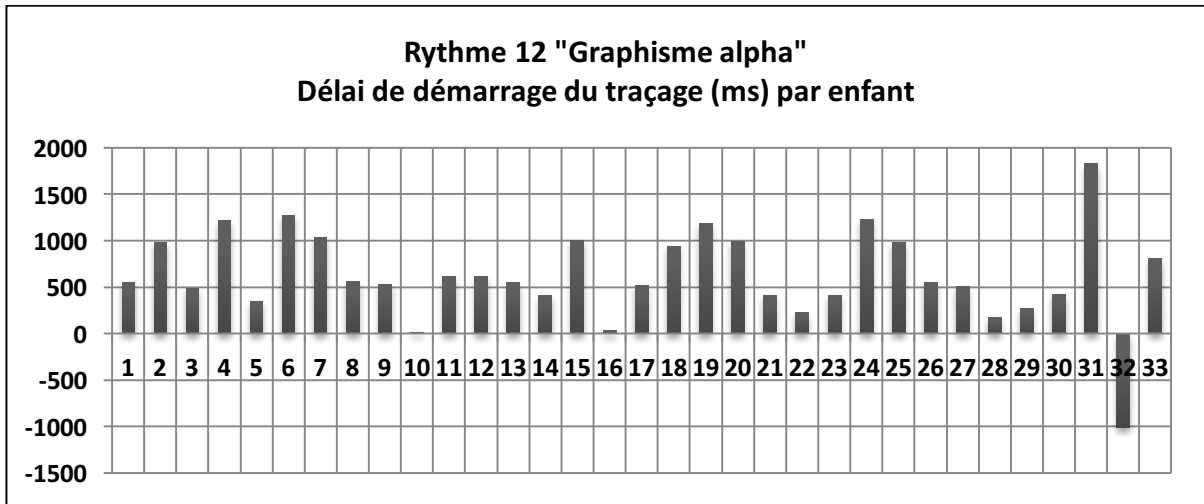
En ordonnée : le délai de démarrage en milliseconde (ms)

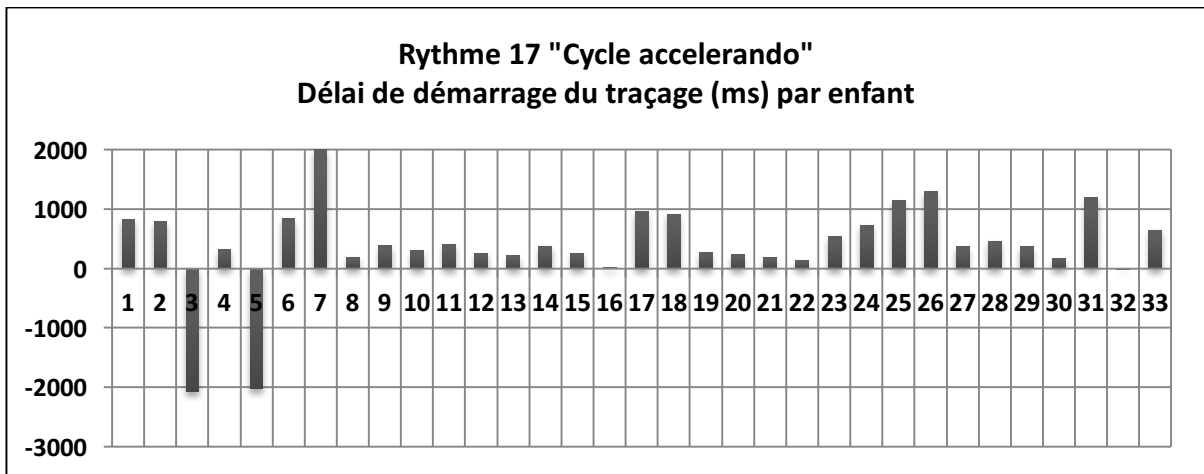
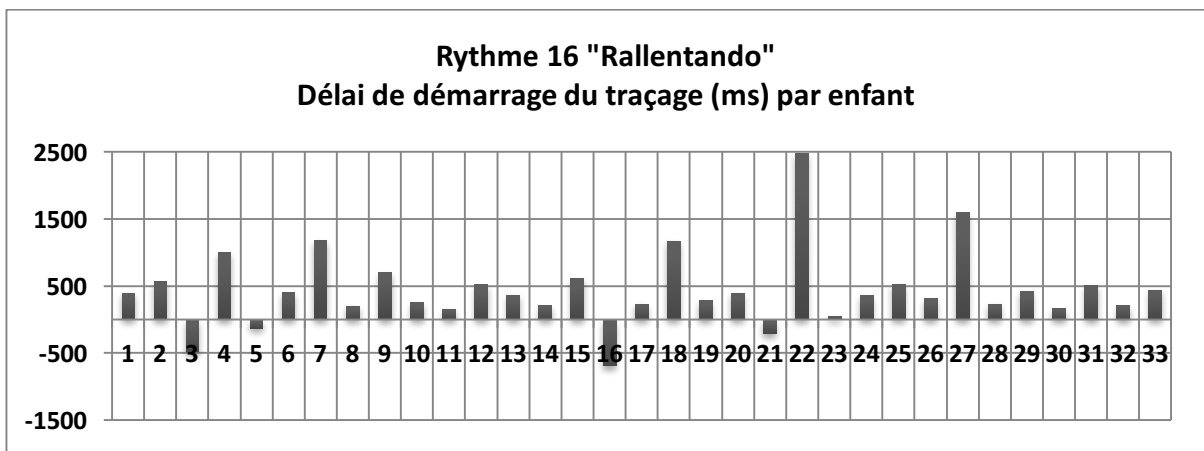
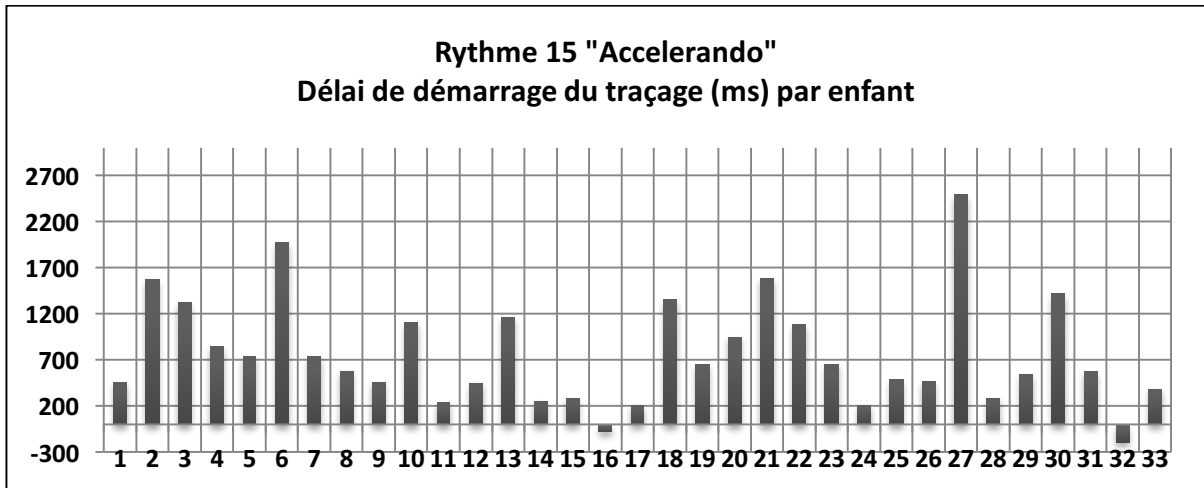


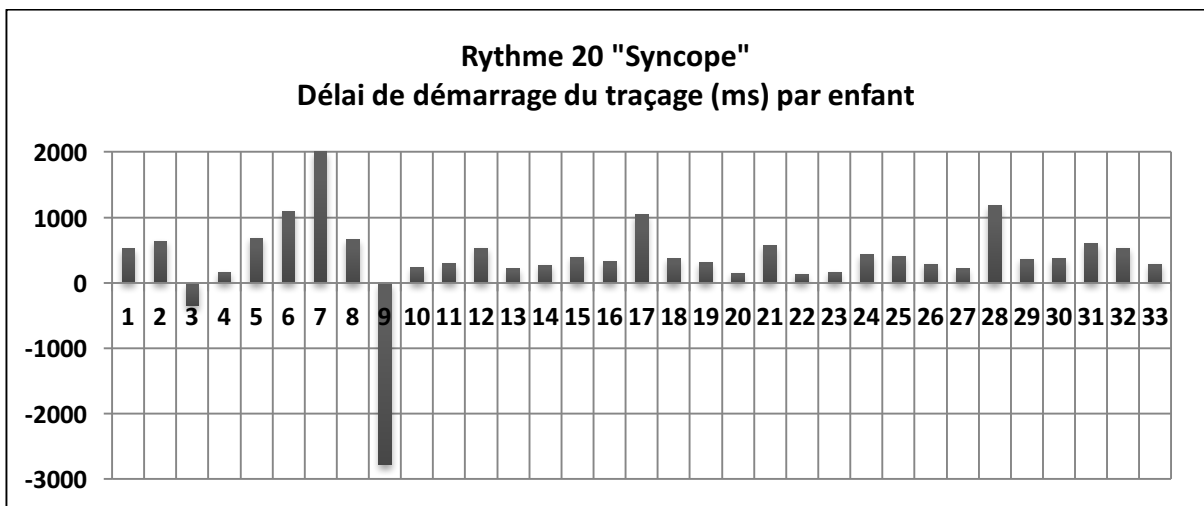
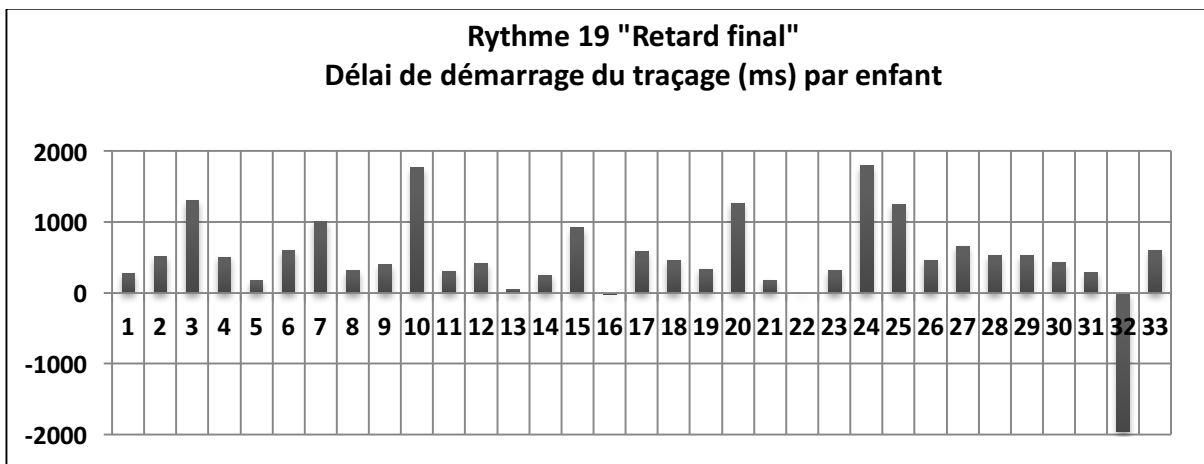
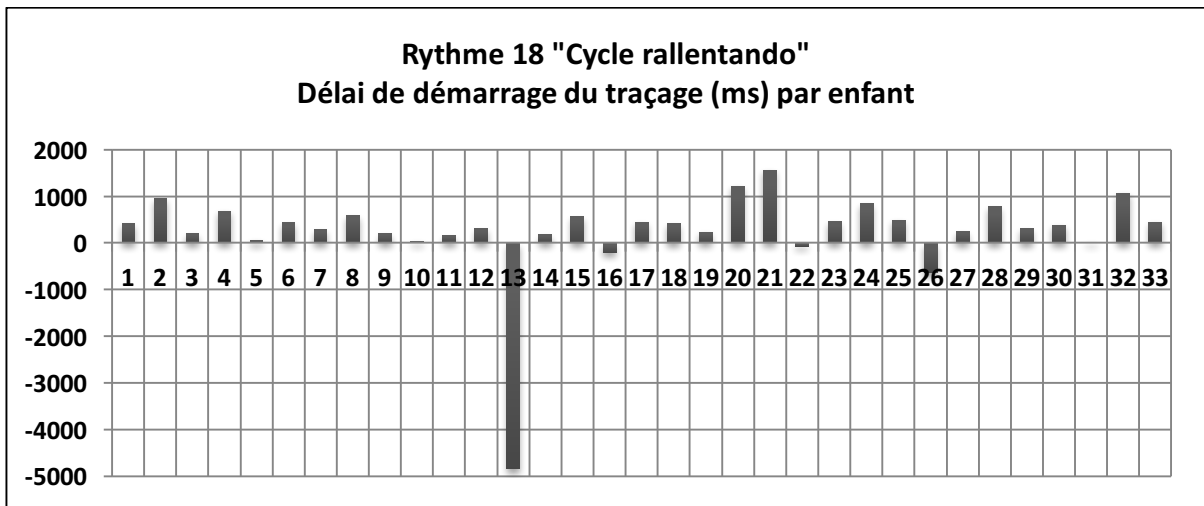


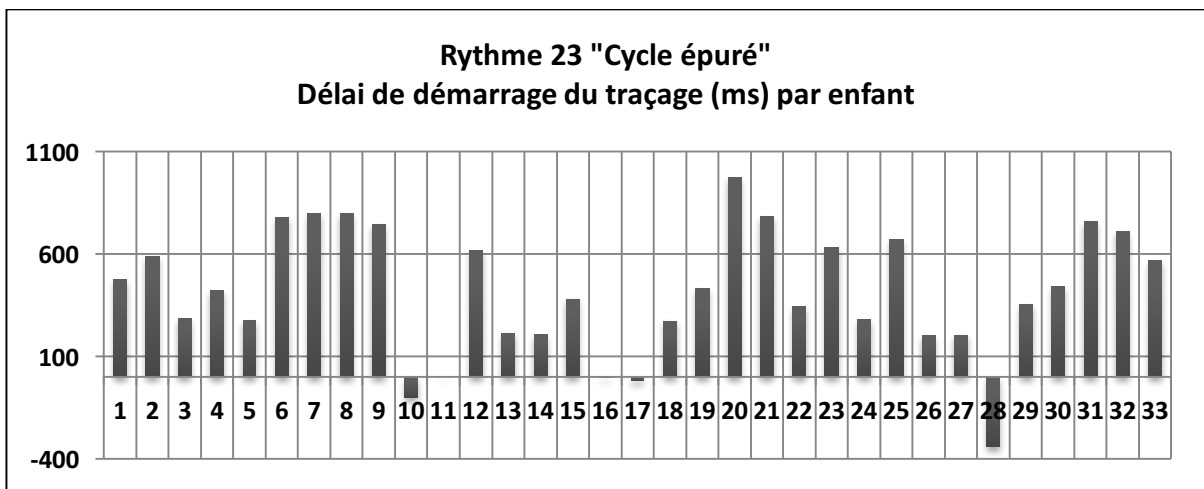
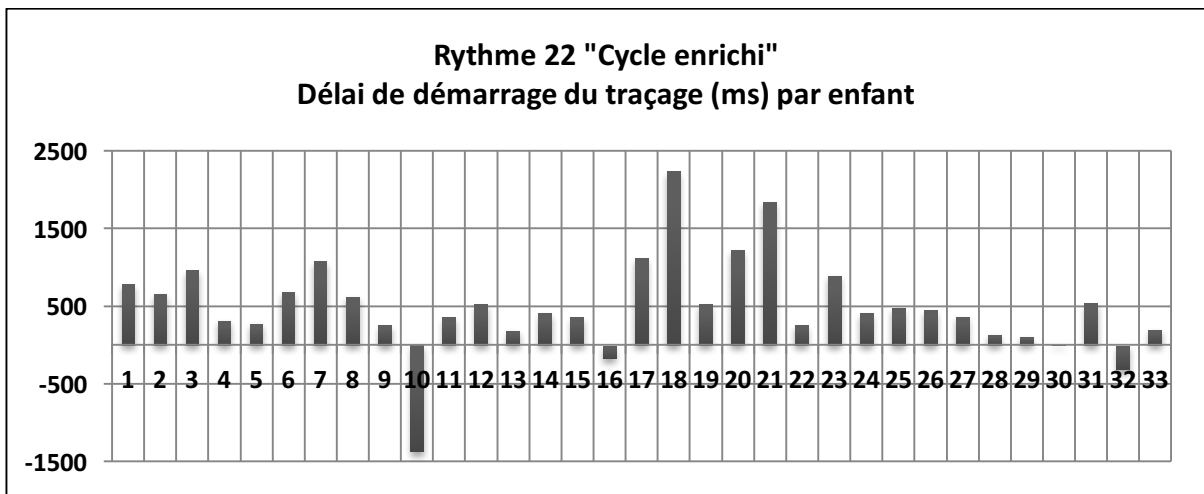
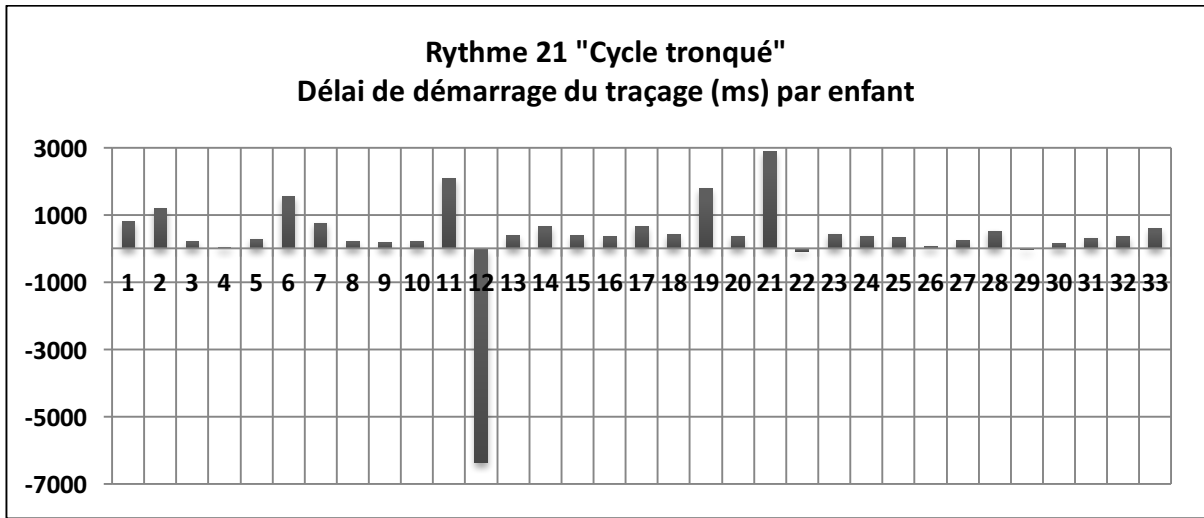


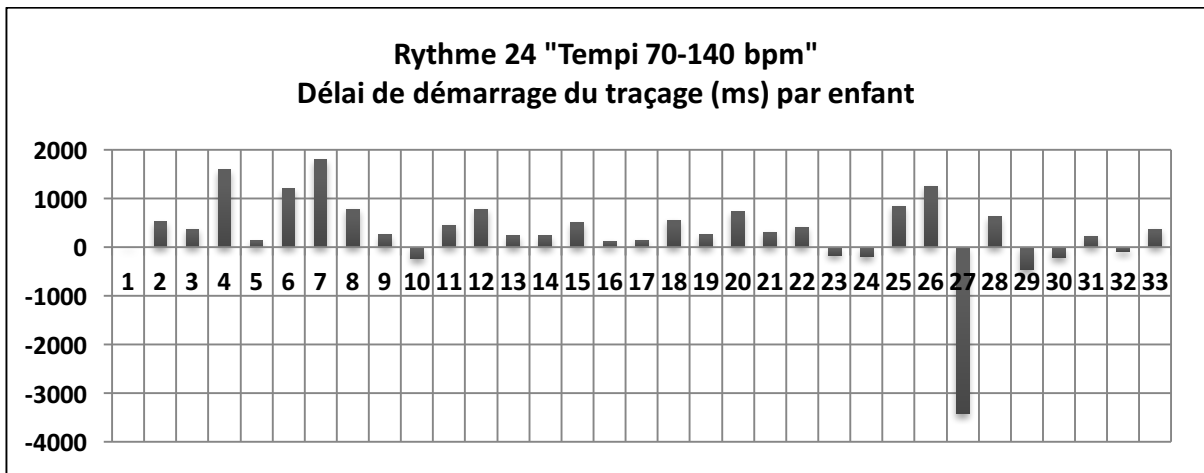








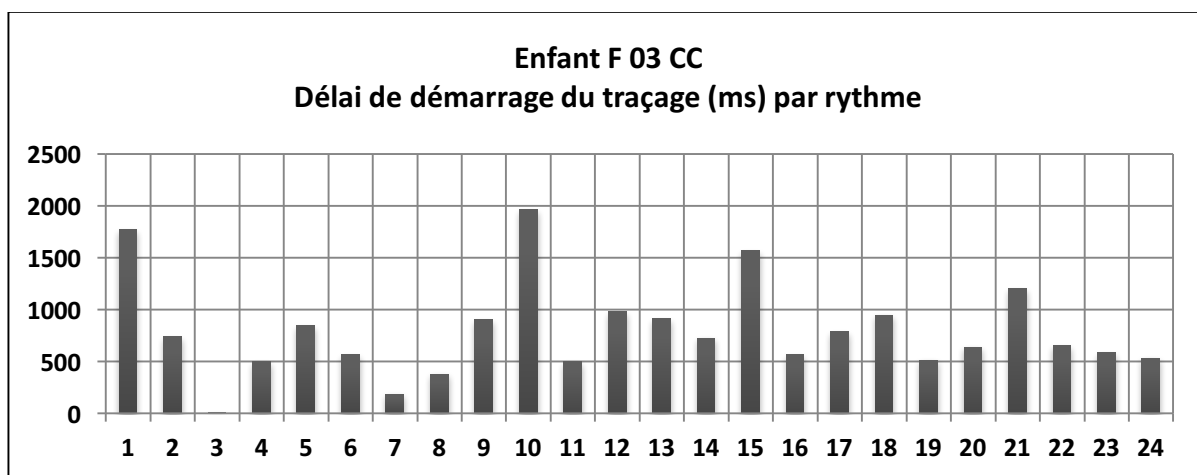
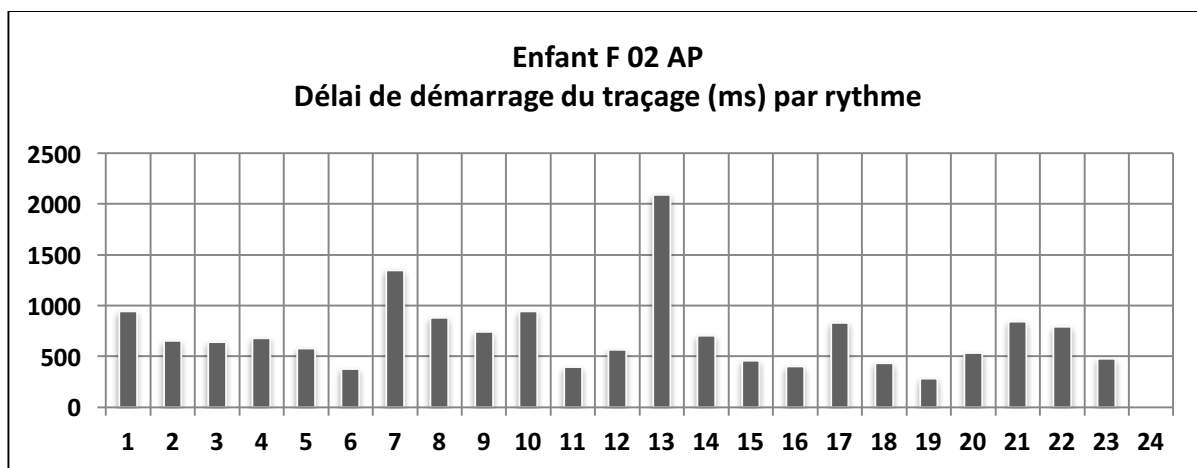


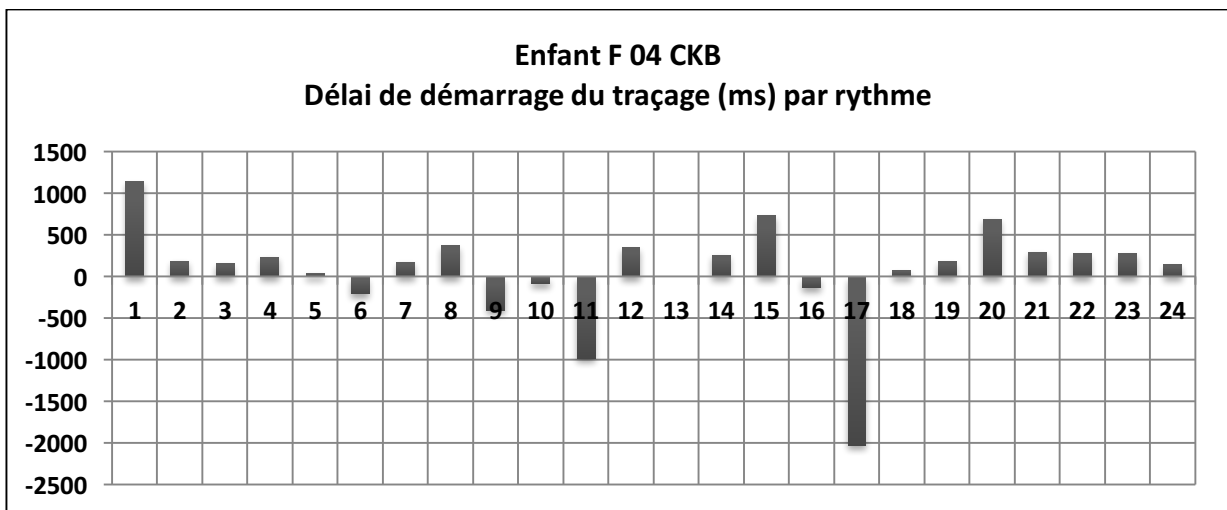
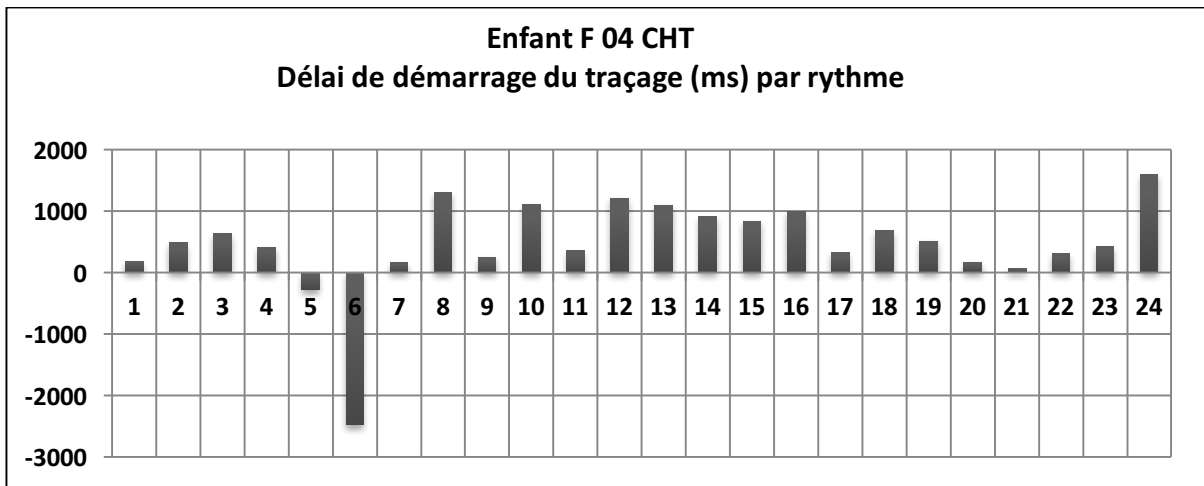
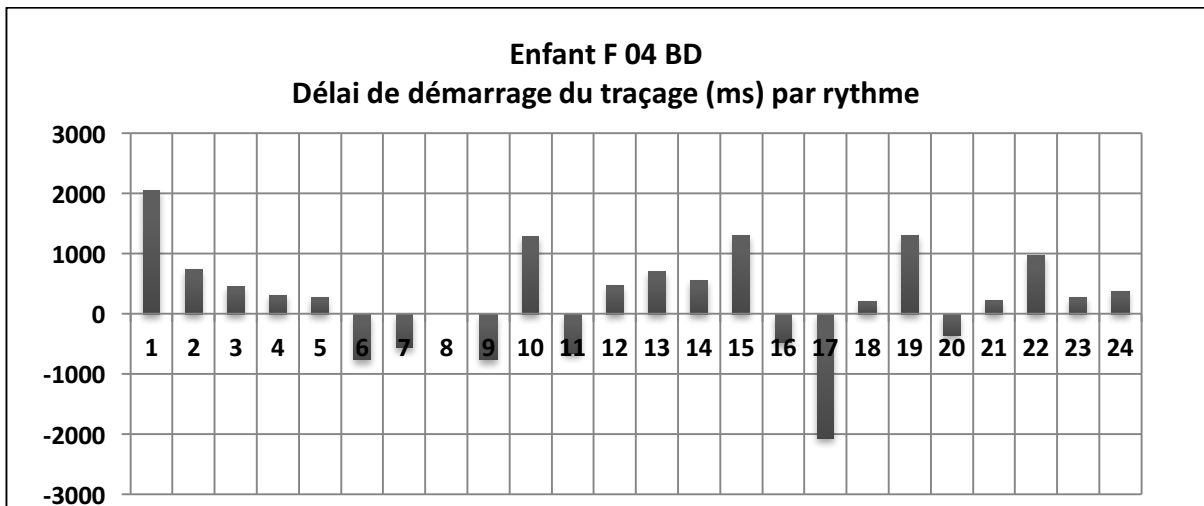


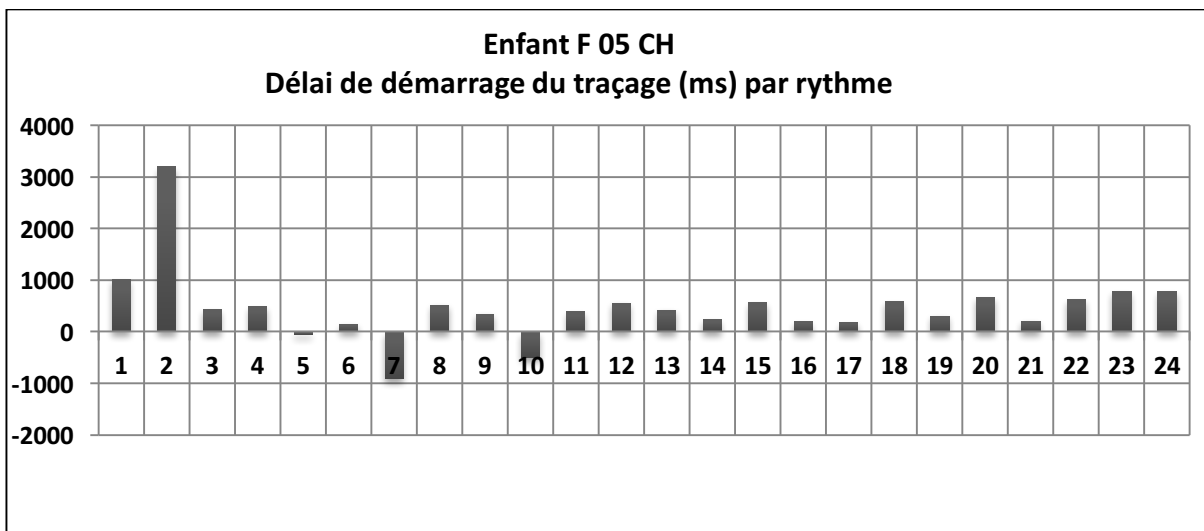
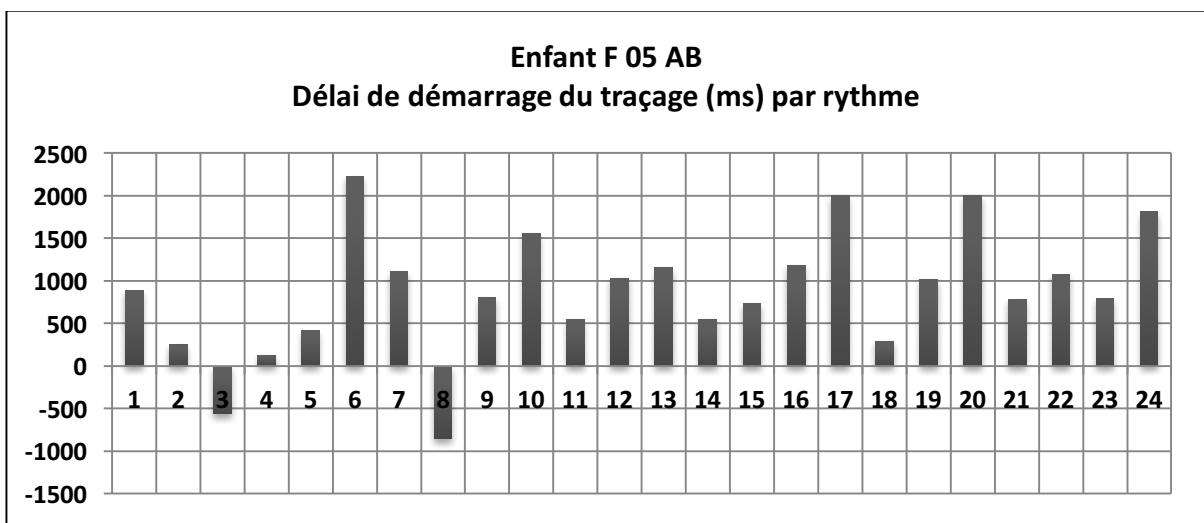
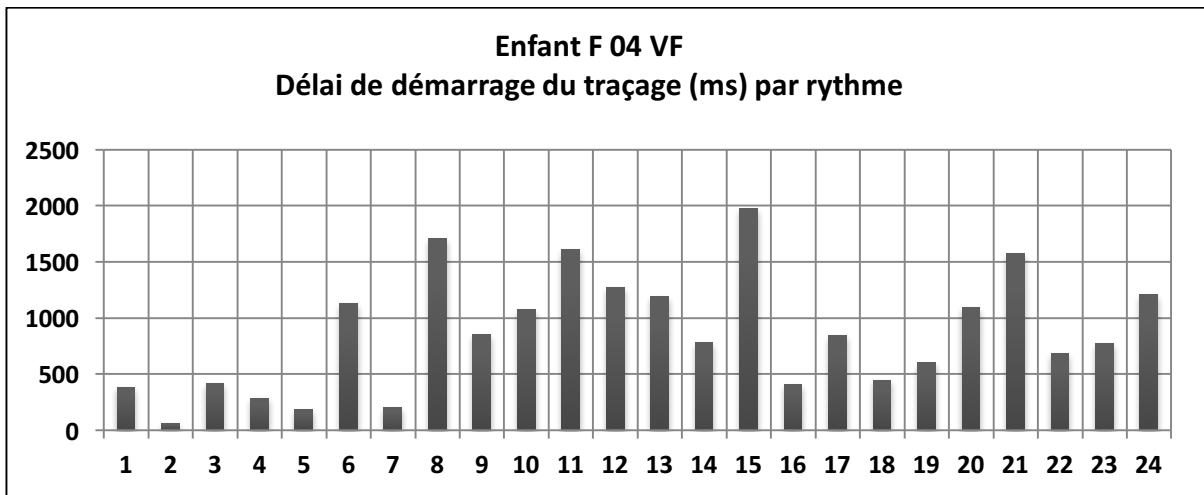
9 Annexe IX : Délais de démarrage du traçage selon les rythmes, par enfant

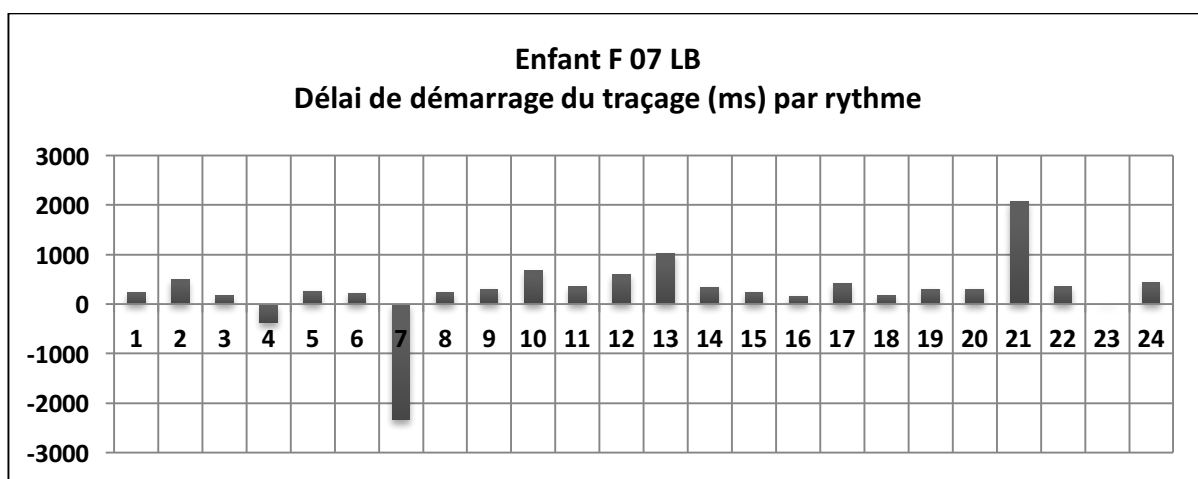
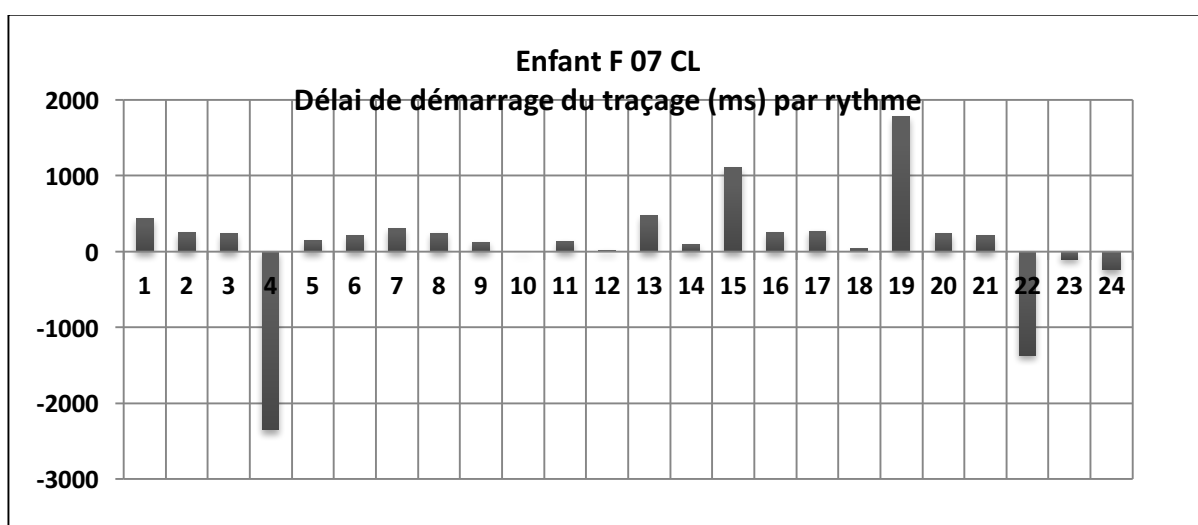
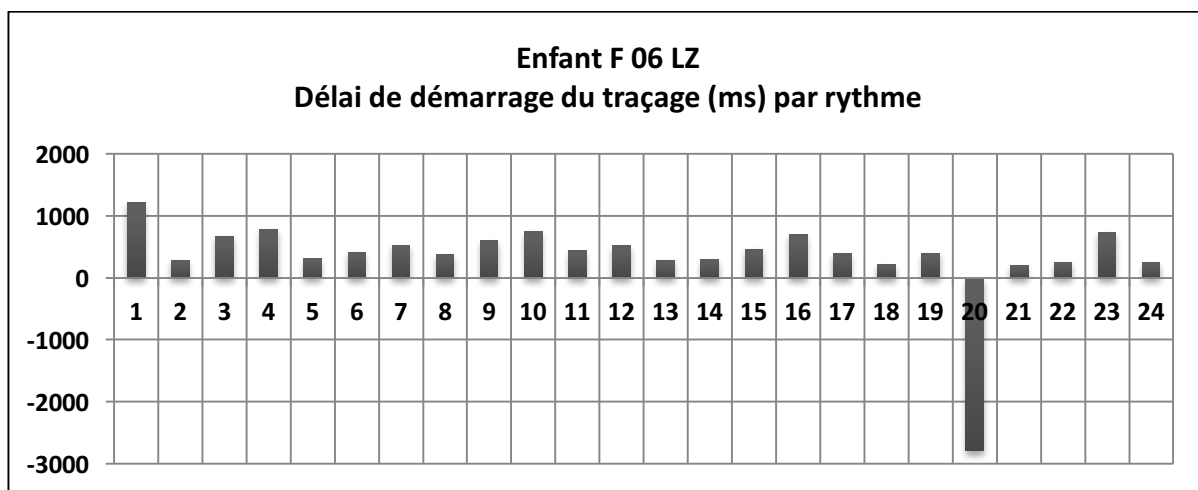
En abscisse : les 24 rythmes

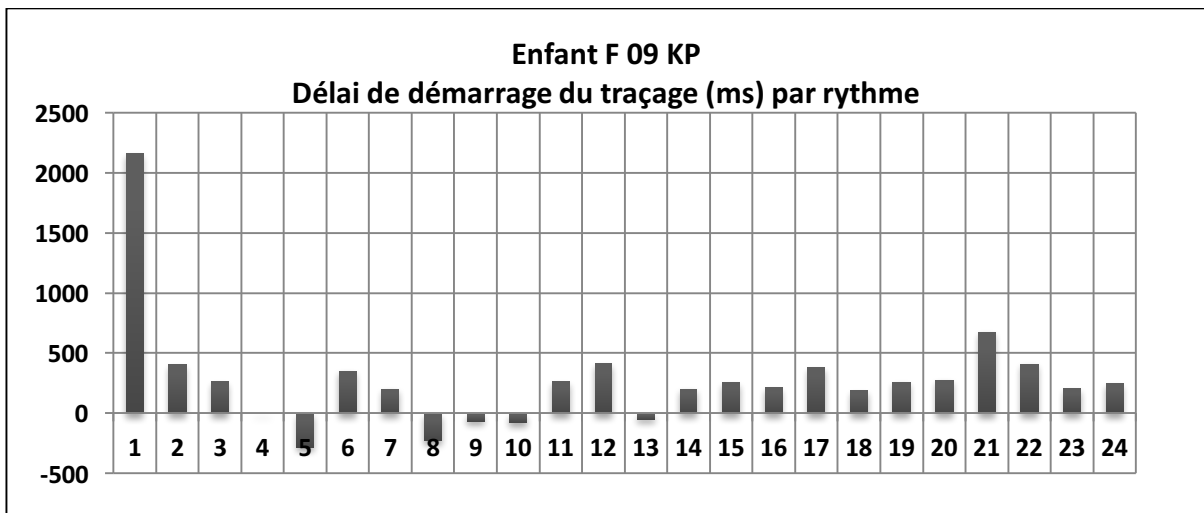
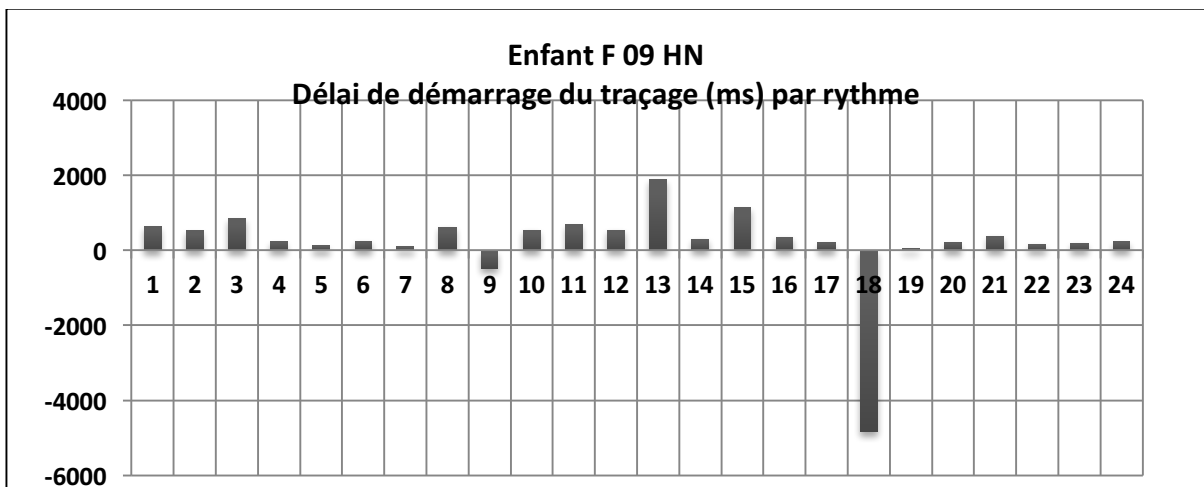
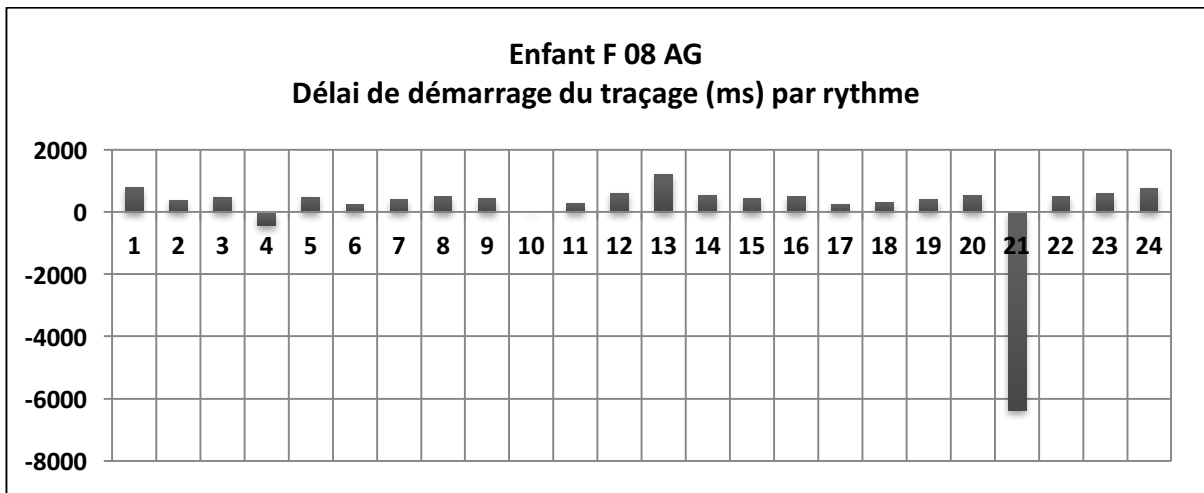
En ordonnée : le délai de démarrage en milliseconde (ms)

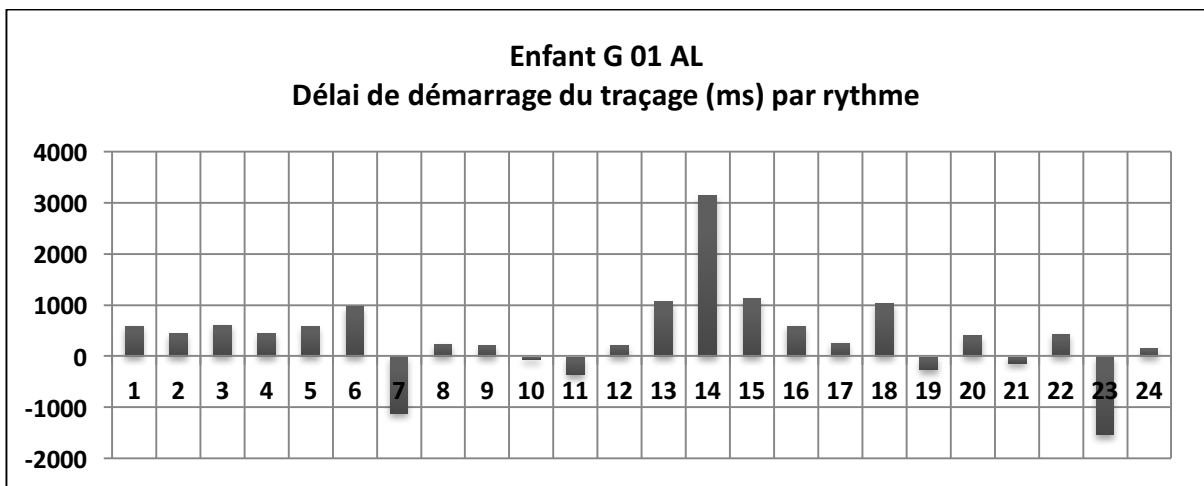
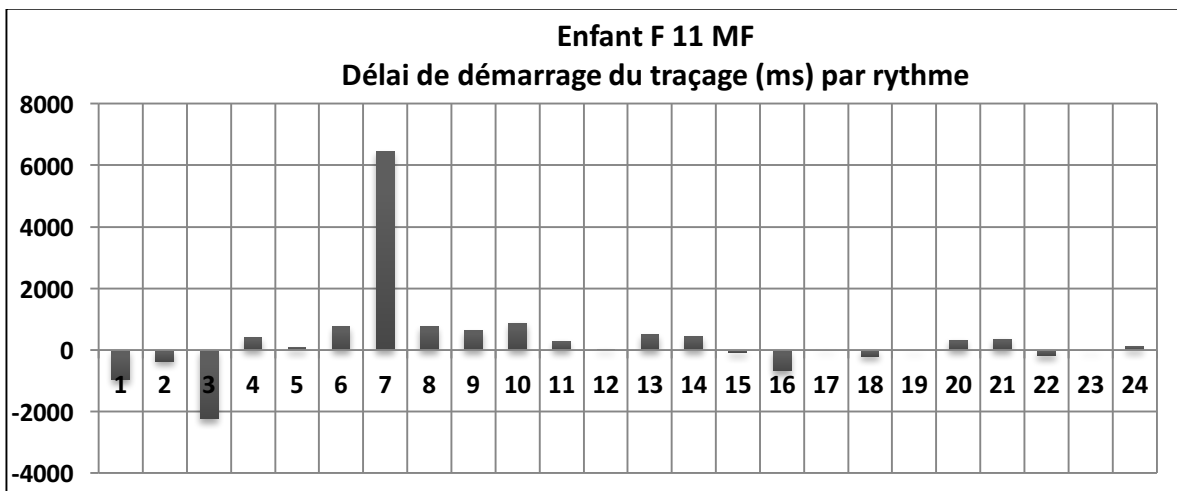
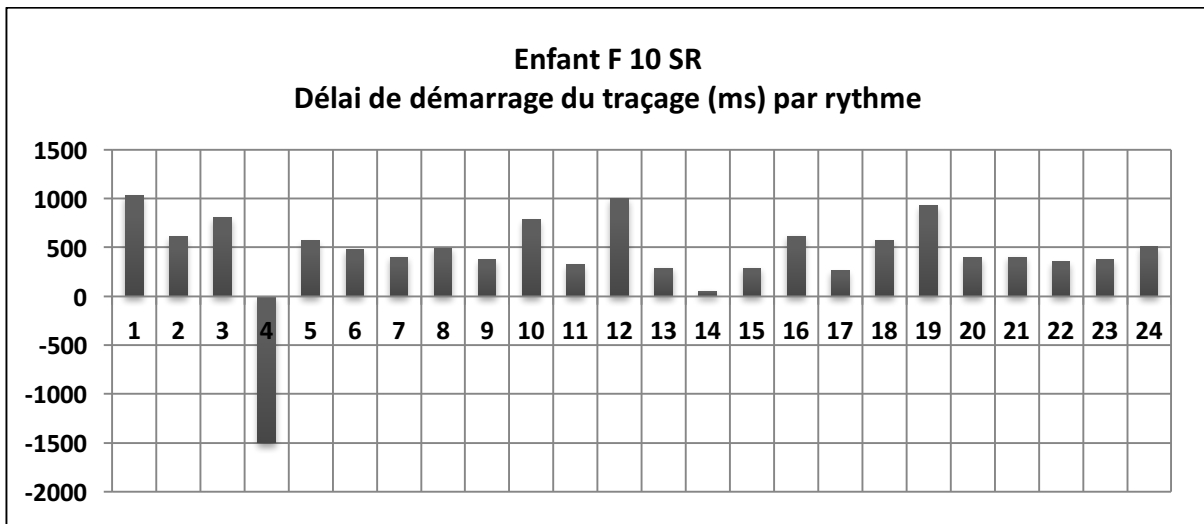


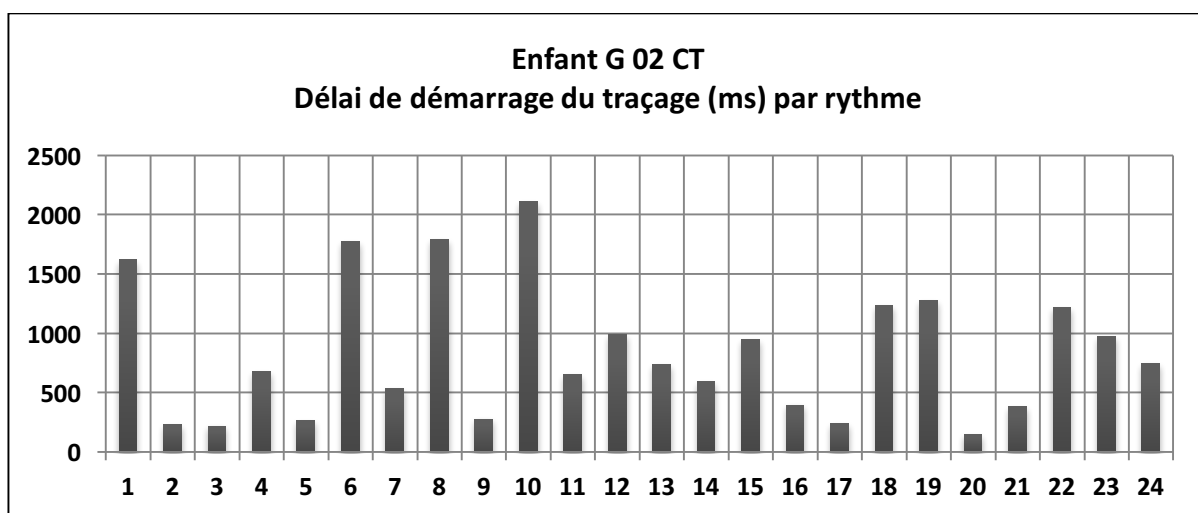
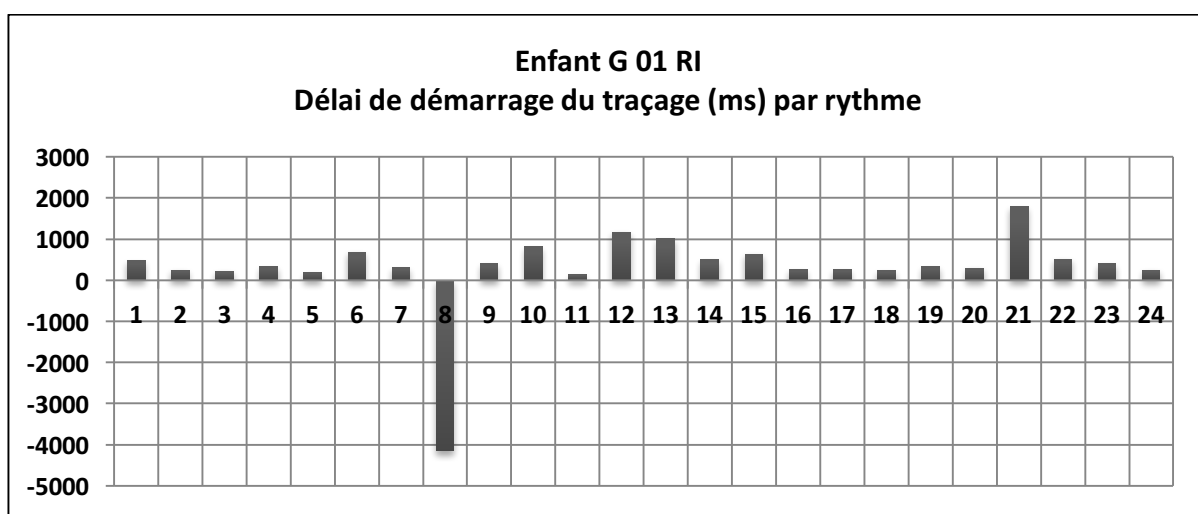
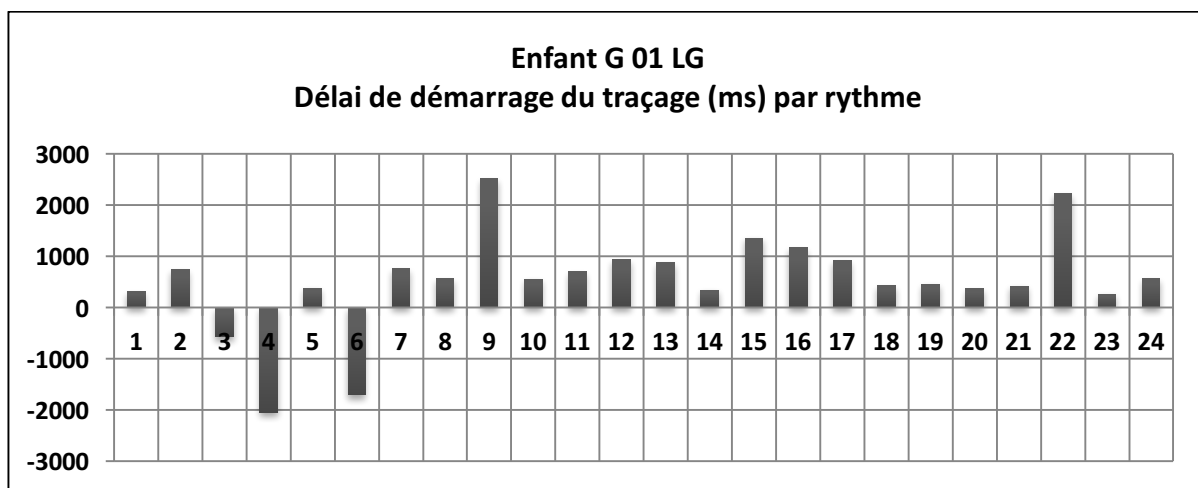


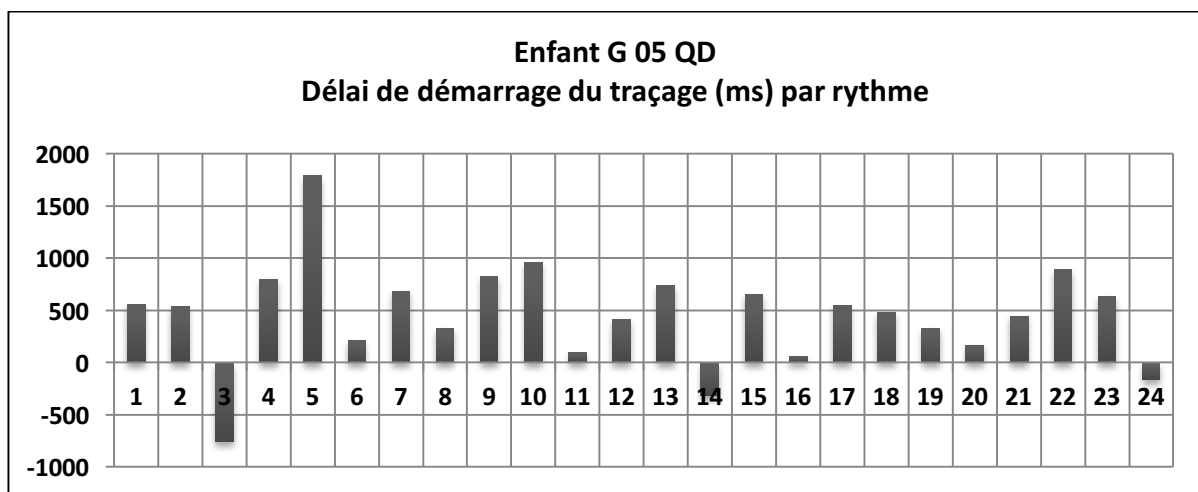
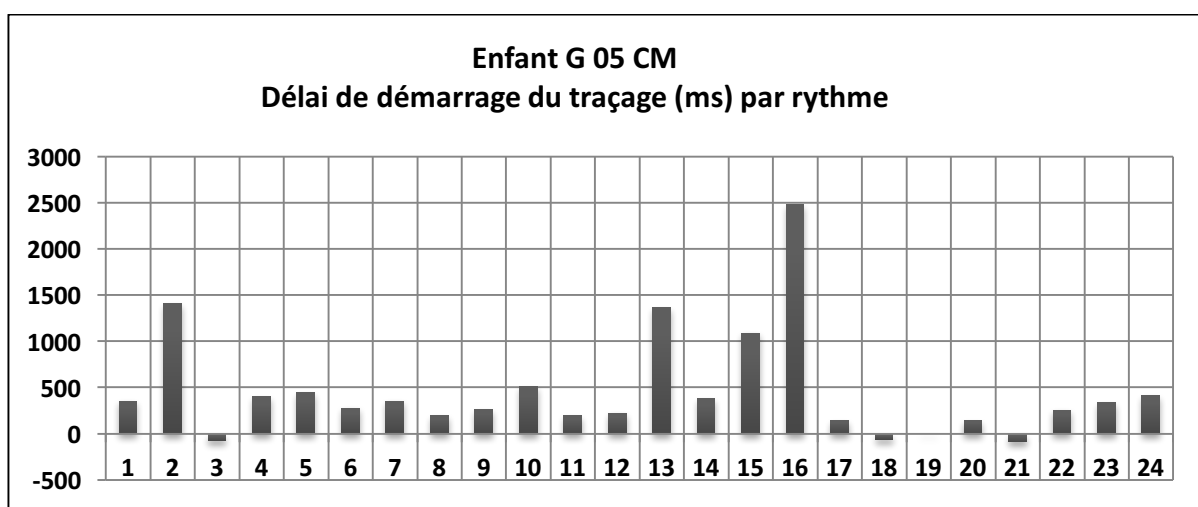
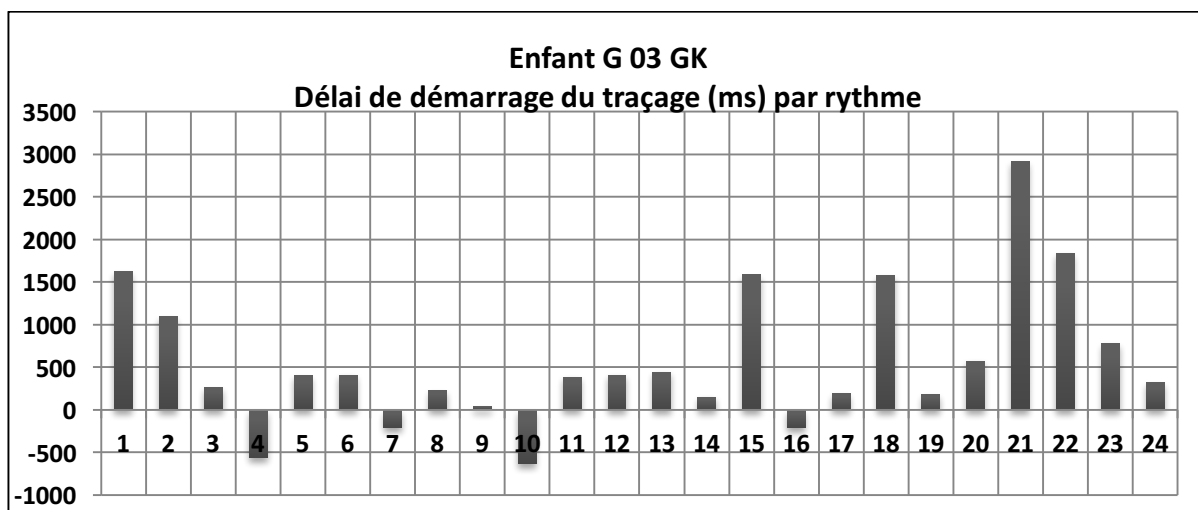


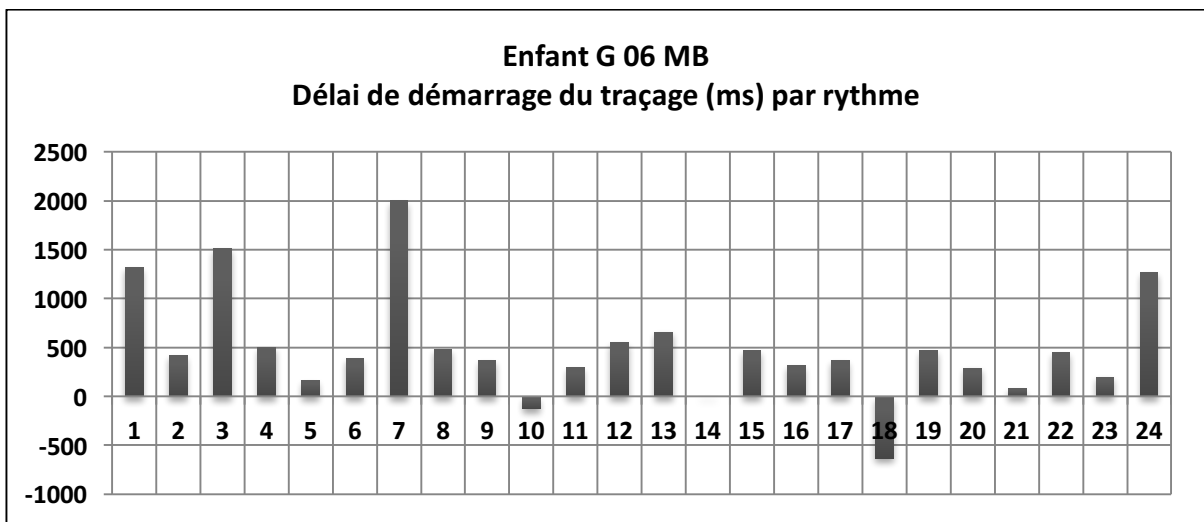
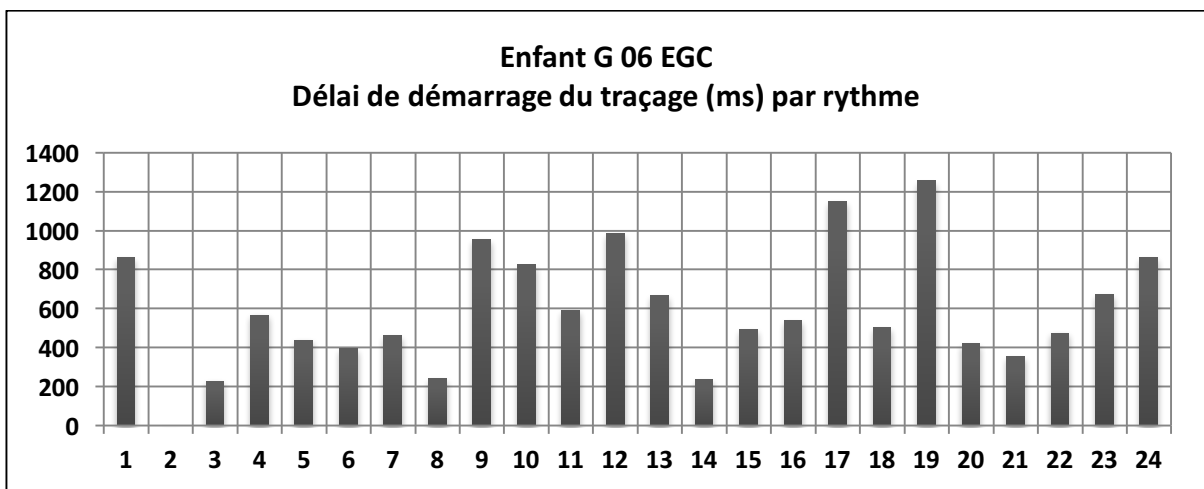
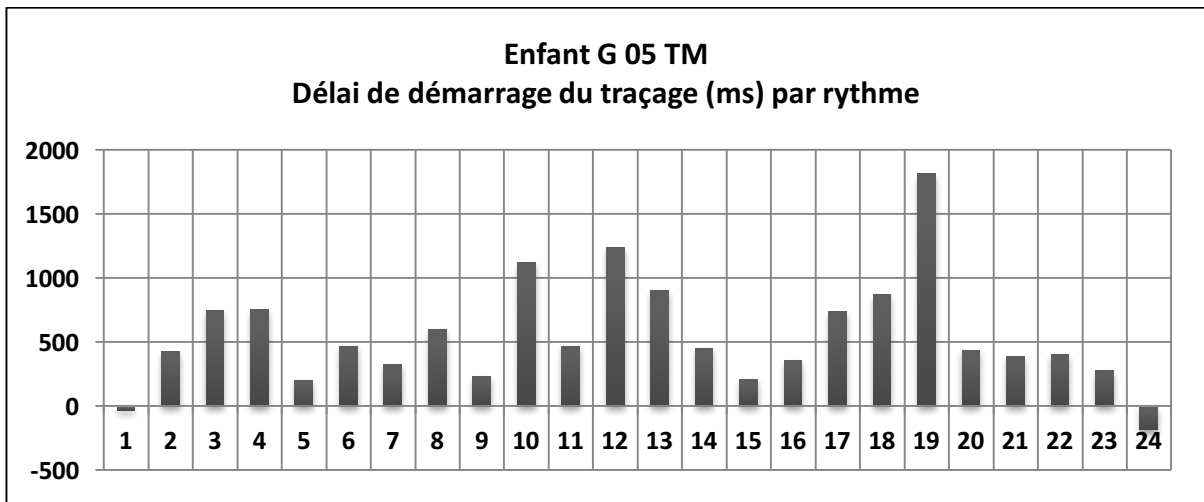


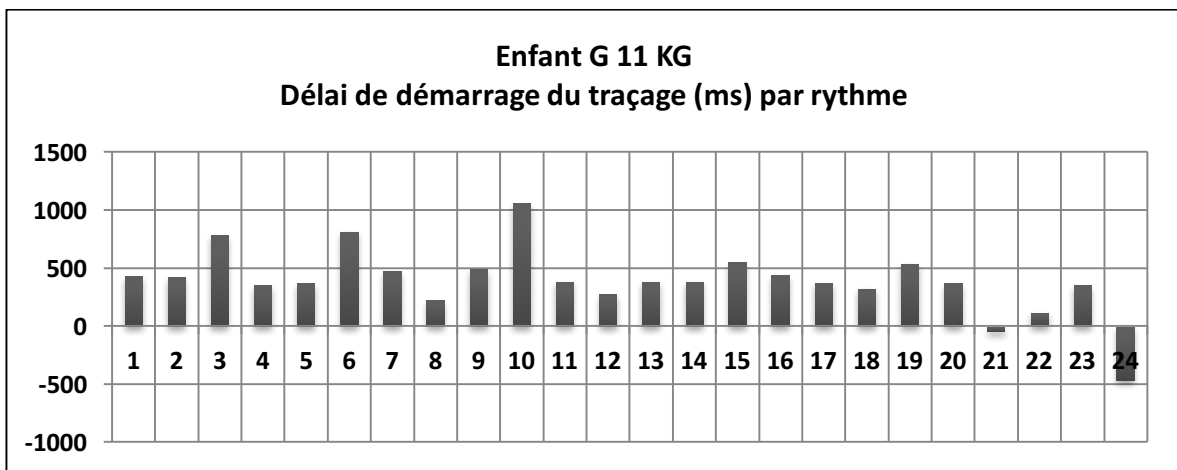
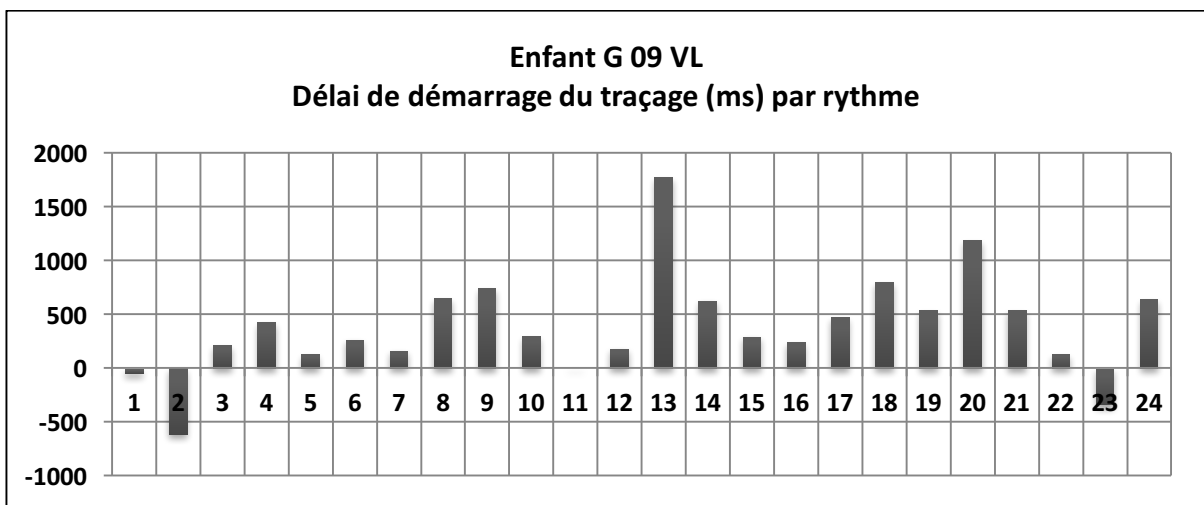
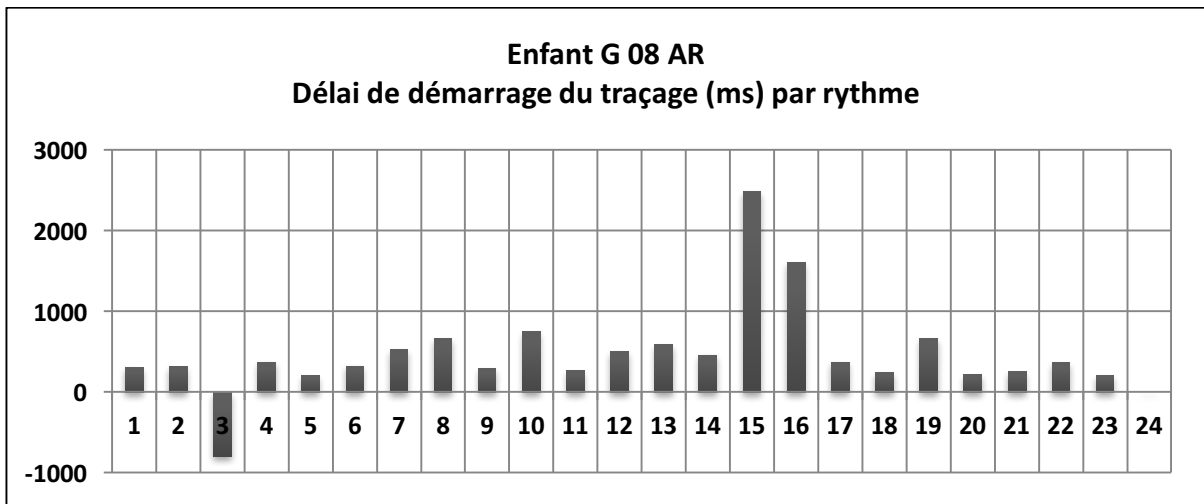


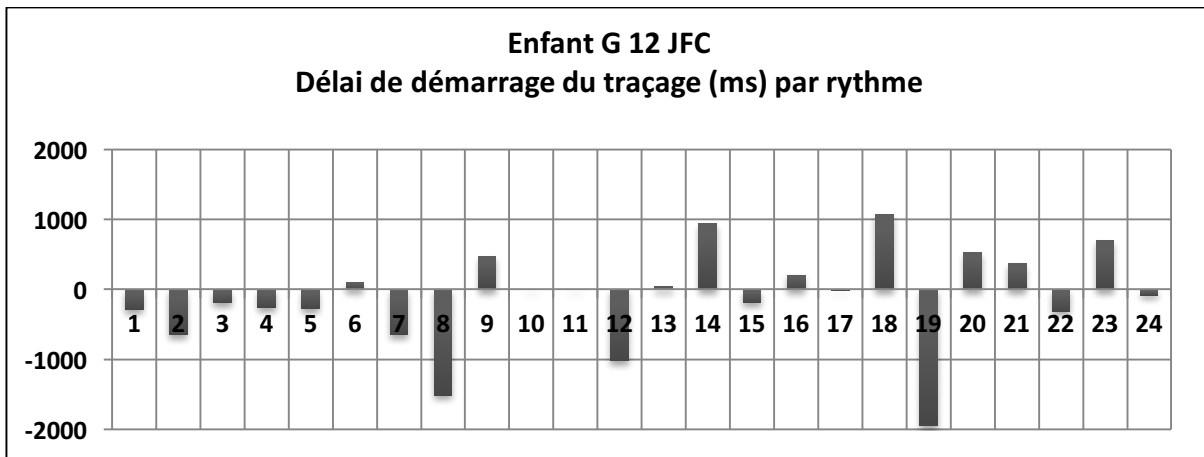
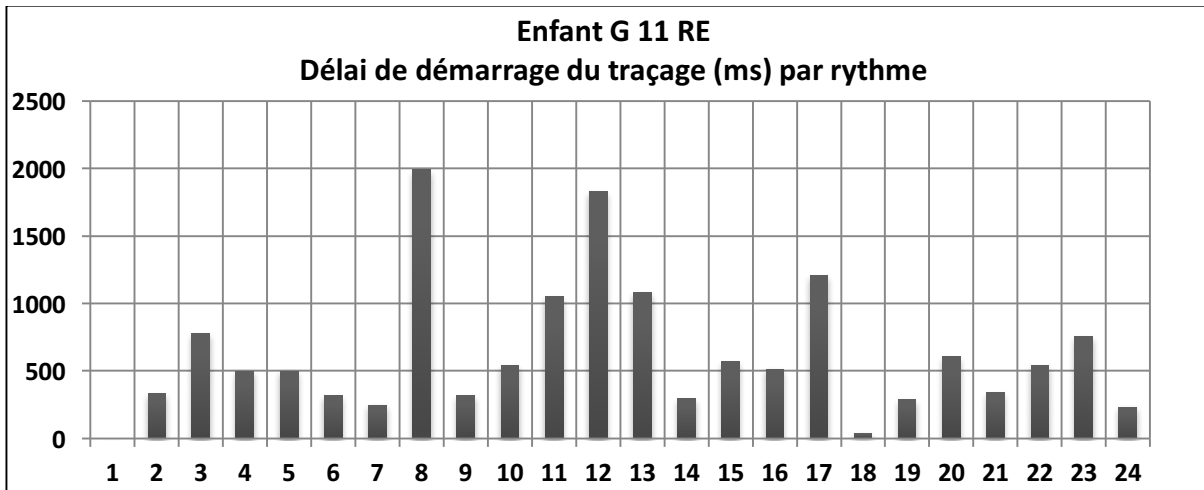
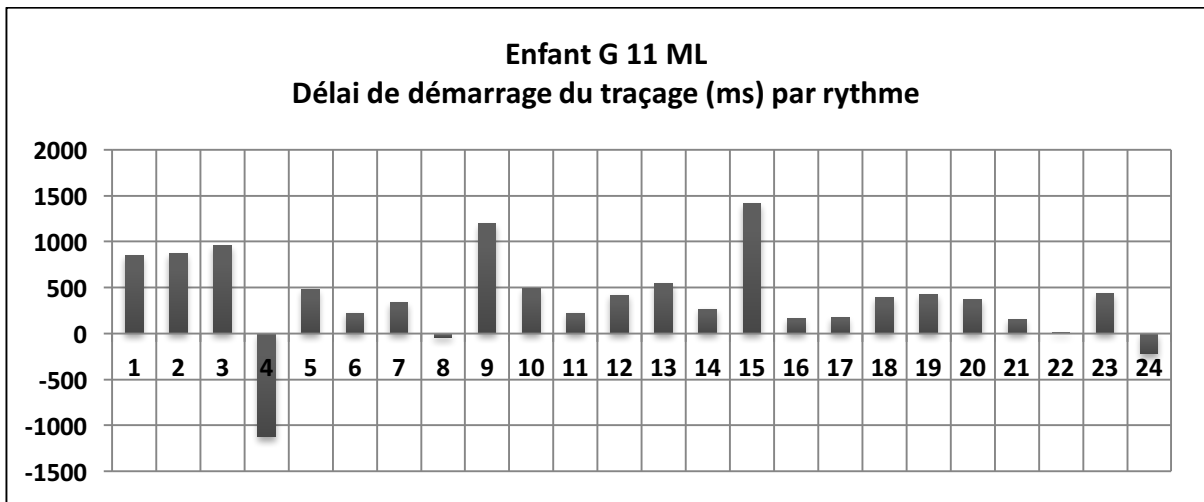


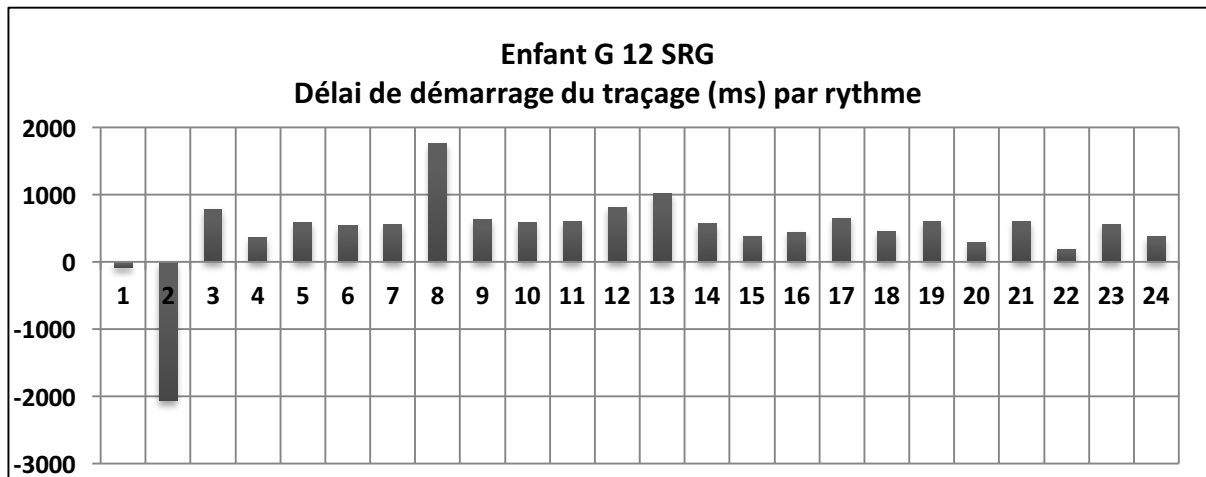












10 Annexe X : Valeur maximale de corrélation de la vitesse du graphisme originel et de la vitesse des graphismes résultants de l'écoute des rythmes 9, 10, 11, 12

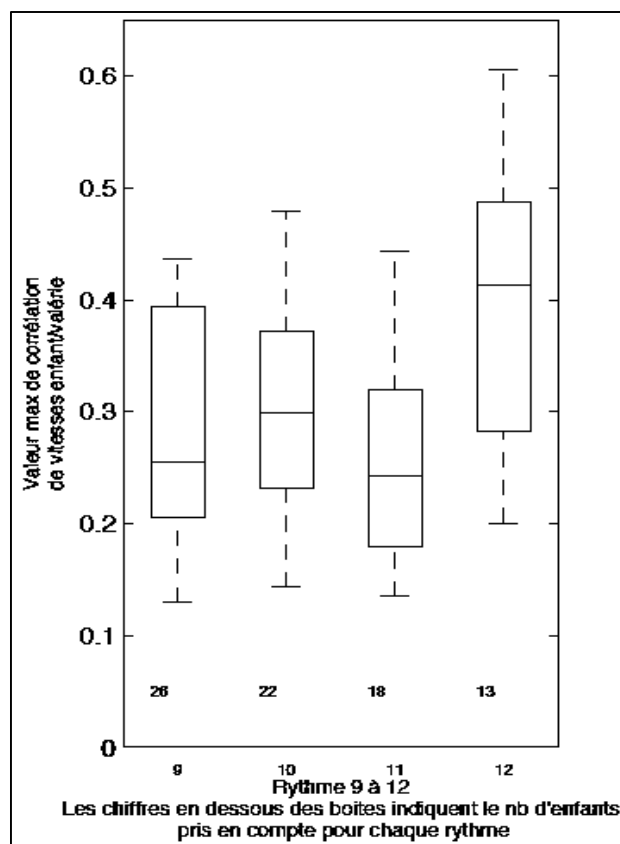


Figure 198: Corrélation de vitesses graphiques originelle et résultante via les rythmes 9, 10, 11, 12 (Seuil 0.1)

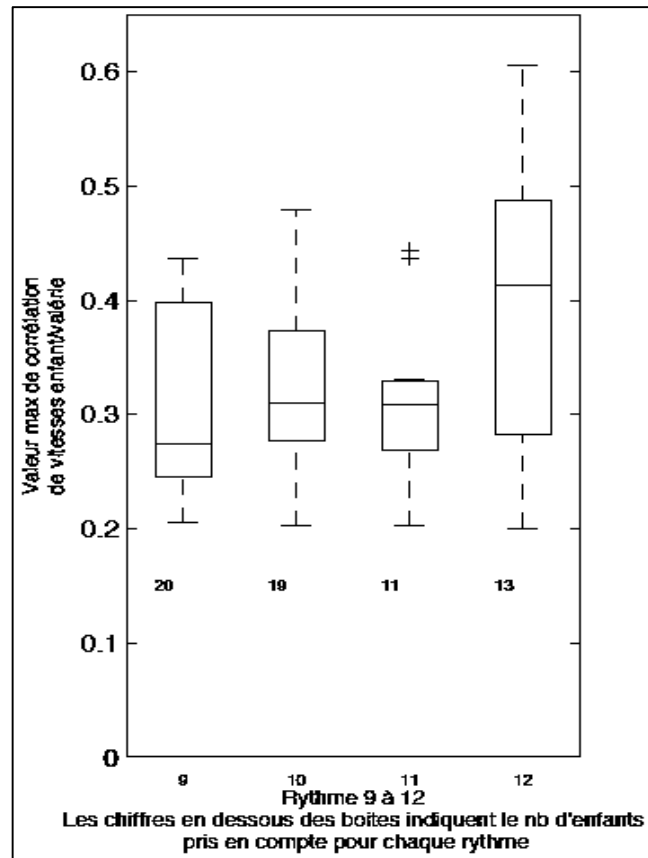


Figure 199: Corrélation de vitesses graphiques originelle et résultante via les rythmes 9, 10, 11, 12 (Seuil 0.2)

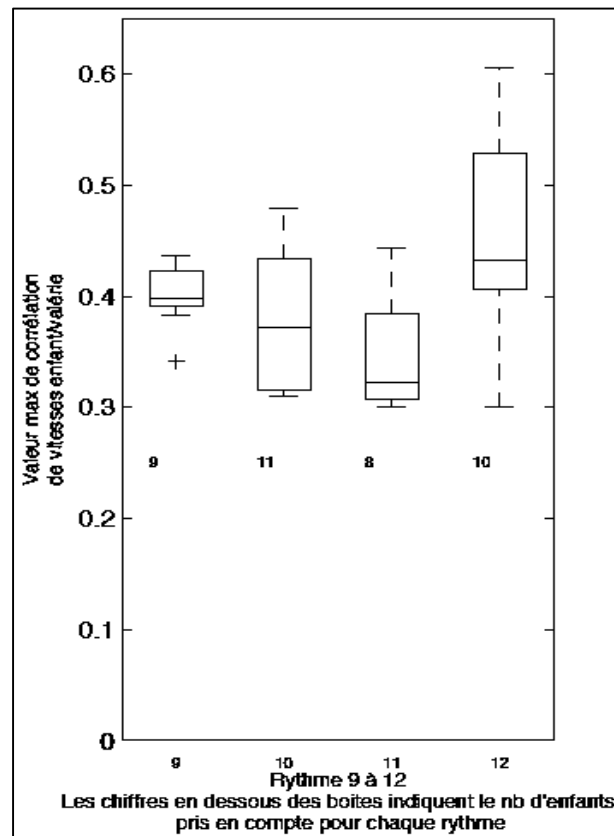


Figure 200: Corrélation de vitesses graphiques originelle et résultantes via les rythmes 9, 10, 11, 12 (Seuil 0.3)

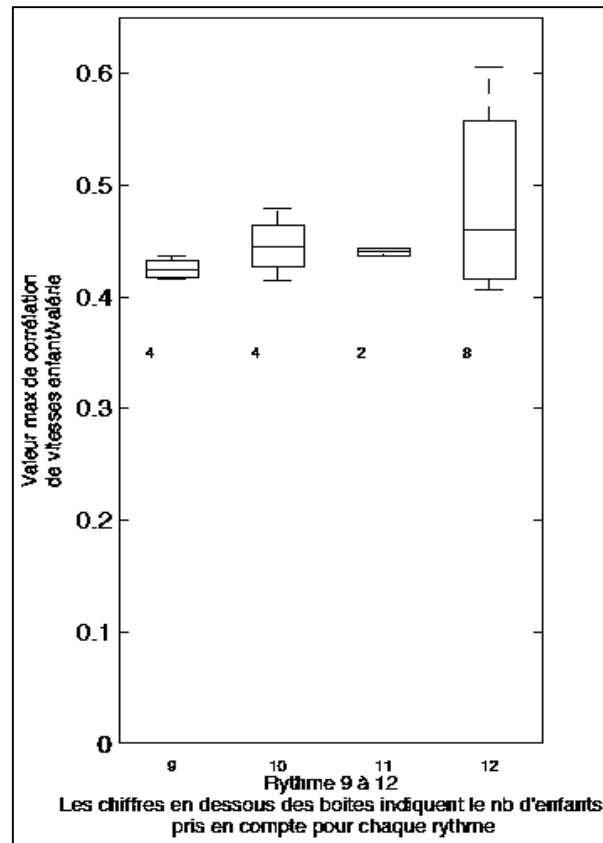


Figure 201: Corrélation de vitesses graphiques originelle et résultante via les rythmes 9, 10, 11, 12 (Seuil 0.4)

BIBLIOGRAPHIE THÉMATIQUE

1 Méthode de recherche

- BACHELARD, Gaston, *La formation de l'esprit scientifique Contribution à une psychanalyse de la connaissance*, Paris, Vrin, 1938/2004, 305 p.
- BARBEROUSSE, Anouk, KISTLER, Max et LUDWIG, Pascal, *La philosophie des sciences au XX^e siècle*, Paris, Flammarion, 2000, 353 p.
- CORROYER, Denis et WOLFF, Marion, *L'Analyse Statistique des Données en Psychologie Concepts et méthodes de base*, Paris, Colin, 2004, 314 p.
- DE KÉTÉLÉ, Jean-Marie et ROEGIER, Xavier, *Méthodologie du recueil d'informations Fondements des méthodes d'observation, de questionnaire, d'interview et d'étude de documents*, Bruxelles, De Boeck, 2009, 204 p.
- DE LANDSHEERE, Gilbert, *Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation*, Paris, PUF, 1979/1992, 377 p.
- DEPLECKER, Loïc, *Entre signe et concept, Eléments de terminologie générale*, Paris, Presses Sorbonne nouvelle, 2002, 198 p.
- HUSSERL, Edmund, TWARKOWSKI, Kasimir, *Sur les objets intentionnels (1893-1901)*, Paris, Vrin, 1993, 426 p.
- KUHN, Thomas S., *La tension essentielle Tradition et changement dans les sciences*, Paris, Gallimard, 1977/trad. française 1990, 480 p.
- MORIN, Edgar, *La méthode, 3. La connaissance de la connaissance*, Paris, Seuil, 1986, 243 p.
- MORIN, Edgar, *La méthode, 4. Les idées*, Paris, Seuil, 1991, 261 p.
- POSTIC, Marcel et DE KÉTÉLÉ, Jean-Marie, *Observer les situations éducatives*, Paris, PUF, 1988/1994, 311 p.
- ROBERT-DEMONTROND, Philippe (dir.), *Méthodes d'observation et d'expérimentation*, Rennes, Apogée, 2004, 319 p.
- RUSSEL, Bertrand, *La méthode scientifique en philosophie Notre connaissance du monde extérieur*, Paris, Payot, 2002, 291 p.
- WITTGENSTEIN, Ludwig, *Remarques mêlées*, Flammarion, 1984/2002, 224 p.

Contributions dans un ouvrage collectif

CHAUVIRÉ, Christiane « Pragmatisme et économie de la recherche chez Peirce », *La philosophie dans la boîte noire*, éd. Christiane Chauviré, Paris, Editions Kimé, 2000, p. 63-83.

Articles

COUSIN, Nathalie, « Recherche et documentation musicologiques », Paris, OMF, 1996, 81 p.

MIALARET, Gaston, « L'attitude scientifique dans la recherche en éducation, en éducation musicale », Université Paris-Sorbonne, Paris, Document de recherche OMF, Série Didactique de la musique, n° 19, juin 2001, 52 p.

MIALARET, Jean-Pierre, « Recherches Francophones en Sciences de l'Éducation Musicale et en Didactique de la musique », Université de Paris-Sorbonne, Paris, *Document de recherche OMF*, Série Didactique de la musique, n° 1, février 1996, 31 p.

VALENTINE, Vincent, « La recherche documentaire en éducation musicale : outils de repérage francophones et anglophones », *Journal de Recherche en Éducation Musicale*, Vol. 4, n° 2, Université de Paris-Sorbonne, Paris, OMF, 2005, p. 67-97.

Actes de colloques et congrès

Observation, analyse, modèle : peut-on parler d'art avec les outils de la science ? Actes du 2^{ème} colloque international d'épistémologie musicale, Textes réunis par Jean-Marc Chauvel et Fabien Lévy, Paris, L'Harmattan, Ircam/Centre Georges-Pompidou, 2002, 488 p.

Dictionnaires

ARNOLD, Denis (dir.), *Dictionnaire encyclopédique de la musique*, tome I et II, Université d'Oxford, Paris, Robert Laffont, 1988.

BENT, Ian D. *et al.*, "Notation", *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 18, 2001, p. 73-189.

BENT, Ian D., POPLÉ, Anthony, "Analysis", *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 1, 2001, p. 526-579.

BON, Denis, *Dictionnaire des termes de l'éducation*, s.l., De Vecchi, 2006, 135 p.

DORON, Roland et PAROT, Françoise, *Dictionnaire de psychologie*, Paris, PUF, 1991.

DUCROT, Oswald et SCHAEFFER, Jean-Marie, *Nouveau dictionnaire encyclopédique des sciences du langage*, Paris, Seuil, 1995.

FALLOWS, David, “Tempo and expression marks”, *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 25, 2001, p. 271-279.

JUHEL, Françoise (dir.), *Dictionnaire de l'image*, Paris, Vuibert, 2008, 415 p.

KOVALEFF BAKER, Nancy, PADDISON, Max Halle and SCRUTON, Roger, “Expression”, *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 1980, p. 463-472.

LONDON, Justin, “Rhythm”, *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 21, 2001, p. 277-309.

LONDON, Justin, “Tempo”, *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 25, 2001, p. 270-271.

MORIZOT, Jacques et POUIVET, Roger, *Dictionnaire d'esthétique et de philosophie de l'art*, Paris, Colin, 2007/2009.

SADIE, Stanley, “Movement”, *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 17, 2001, p. 251-252.

SCRUTON, Roger, “The nature of musical expression”, *The New Grove Dictionary of music and musicians*, ed. Stanley Sadie, London, Macmillan, Second Edition, 1980, p. 466-472.

SOURIAU, Etienne, *Vocabulaire d'esthétique*, Paris, PUF, 1990/2004.

Consultation Web

BERNARD, Claude, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, 1865, www.gutenberg.org/cache/epub/16234/pg16234.html, le 14/09/2012.

Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales, CNRS atilf

<http://littre.reverso.net/dictionnaire-francais/>

www.dicolatin.com

www.littre.org

2 Rythme et *mouvement* musical

ACCAOUI, Christian, *Le temps musical*, Paris, Desclée de Brouwer, 2001, 308 p.

- ANSERMET, Ernest, *Les fondements de la musique dans la conscience humaine et autres écrits*, Paris, Laffont, 1989.
- AROM, Simha, *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d'Afrique centrale. Structure et méthodologie*, Vol. I, Paris, Selaf, 1985, 376 p.
- AROM, Simha et ALVAREZ-PEREYRE, Frank, *Précis d'ethnomusicologie*, Paris, CNRS édition, 2001, 171 p.
- AYARI, Mondher, et MAKHLOUF, Hamdi (dir.), *Musique, Signification et Emotion*, Paris, Delatour France, 2010, 391 p.
- BERGSON, Henri, *Durée et simultanéité*, Paris, PUF, 1923/1998.
- BERGSON, Henri, *La pensée et le mouvant*, Paris, PUF, 1938/1998, 291 p.
- BLACKING, John, *Le sens musical*, Paris, Les éditions de Minuit, 1973/1980, 129 p.
- BLACKING, John, *Music, Culture, and Experience*, University of Chicago Press, 1995, 269 p.
- BOISSIÈRE, Anne et DUPLAY, Mathieu (dir.), *Vie, Symbole, Mouvement, Susanne K. Langer et la danse*, Lille, De l'incidence éditeur, 2012, 290 p.
- BOUCOURECHLIEV, André, *Le langage musical*, Paris, Fayard, 1993, 186 p.
- BOUDINET, Gilles et FIJALKOW, Claire (dir.), *Mélanges pour Jean-Pierre Mialaret. De la fondation des Sciences de l'Education Musicale....*, Paris, L'Harmattan, 2005, 210 p.
- BRAILOIU, Constantin, *Le rythme Aksak*, Abbeville, Paillart, 1952, 42 p.
- CERIANI, Giulia, *Du dispositif rythmique : arguments pour une sémio-physique*, Paris, L'Harmattan, 2000, 210 p.
- CHAILLEY, Jacques, *Histoire musicale du Moyen âge*, PUF, 1984, 336 p.
- CHOUARD, Claude-Henri, *L'oreille musicienne : les chemins de la musique de l'oreille au cerveau*, Gallimard, 2001, 347 p.
- CHOUVEL, Jean-Marc, *Analyse musicale. Sémiologie et cognition des formes temporelles*, Paris, L'Harmattan, 2006, 314 p.
- COURT, Raymond, *Le musical, Essai sur les fondements anthropologiques de l'art*, Paris, Klincksieck, 1976, 320 p.
- DARSEL, Sandrine, *De la musique aux émotions Une exploration philosophique*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2010, 283 p.

- DAVIES, Stephen, *Musical Meaning and Expression*, New York, Cornell University Press, 1994, 417 p.
- DECARSIN, François, *La musique, architecture du temps*, Paris, L'Harmattan, 2001/2009, 166 p.
- DELALANDE, François, *La musique est un jeu d'enfant*, Paris, Buchet-Chastel, 1984, 194 p.
- DELALANDE, François, *Analyser la musique, pourquoi, comment ?*, Paris, INA, 2013, 248 p.
- DESCARTES, René, *Abrégé de musique*, Paris, Klincksieck, 1990, 161 p.
- DESESQUELLES, Anne-Claire, *L'expression musicale*, Berlin, Peter Lang, 1999, 281 p.
- DESESQUELLES, Anne-Claire, *Au rythme de la vie*, Nice, Ovadia, 2008, 154 p.
- DUFOURT, Hugues, *Musique, pouvoir, écriture*, Paris, Christian Bourgeois, 1991, 361 p.
- DUFRENNE, Mikel, *Phénoménologie de l'expérience esthétique, 1. L'objet esthétique*, Paris, PUF, 1956/1992.
- ERLANGER, Rodolphe d', *La musique arabe, Tome sixième, Essai de codification des règles usuelles de la musique arabe moderne, le système rythmique, les diverses formes de composition artistique*, Paris, Paul Geuthner, 1959, 644 p.
- FRAISSE, Paul, *Les structures rythmiques, étude psychologique*, Louvain, Erasme, 1956, 124 p.
- FRAISSE, Paul, *Psychologie du temps*, Paris, PUF, 1957, 360 p.
- FRAISSE, Paul, *Psychologie du rythme*, Paris, PUF, 1974, 254 p.
- FRAISSE, Paul, *Des choses et des mots, la prise d'information*, Paris, PUF, 1992, 167 p.
- GABRIELSSON, Alf, *Action and perception in Rhythm and Music*, Royal Swedish Academy of Music, 1987, 237 p.
- GENEVOIS, Hugues et De VIVO, Raphaël (dir.), *Les nouveaux gestes de la musique*, Marseille, Parenthèses, 1999, 193 p.
- GUILLAUME, Paul, *La psychologie de la forme*, Paris, Flammarion, 1979, 258 p.
- HALL, Edward T., *Au-delà de la culture*, Paris, Seuil, 1979, 233 p.
- HALL, Edward T., *La danse de la vie - Temps culturel-temps vécu.*, Paris, Seuil, 1984, 284 p..
- HANSLICK, Edouard, *Du beau dans la musique, essai de réforme de l'esthétique musicale*, Maquet et Cie, Paris, 1893/2007, 124 p.

- HENRY, Pierre, *Journal de mes sons*, Arles, Actes Sud, 2004, 114 p.
- IMBERTY, Michel, *Les écritures du temps. Sémantique psychologique de la musique*, Paris, Dunod, 1981, 296 p.
- IMBERTY, Michel, *De l'écoute à l'œuvre Etudes interdisciplinaires*, Paris, L'Harmattan, 2001, 156 p.
- IMBERTY, Michel, *La musique creuse le temps. De Wagner à Boulez: Musique, psychologie, psychanalyse*, Paris, L'Harmattan, 2005, 494 p.
- KÖHLER, Wolfgang, *Psychologie de la forme*, Paris, Gallimard, 1964/2000, 383 p.
- KÜHL, Ole, *Musical Semantics*, Bern, Peter Lang, 2008, 261 p.
- LANGER, Susanne K., *Philosophy in a New Key, A Study in the Symbolism of Reason, Rite, and Art*, Cambridge, Harvard University Press, 1942/1971, 313 p.
- LEROY, Jean-Luc, *Vers une épistémologie des savoirs musicaux*, Paris, L'Harmattan, 2003, 205 p.
- LEROY, Jean-Luc, *Le vivant et le musical*, Paris, L'Harmattan, 2005, 315 p.
- LUSSY, Mathis, *Le rythme musical : son origine sa fonction et son accentuation*, Paris, Fischbacher, 1883, 104 p.
- MACAR, Françoise, *Le temps, Perspectives psychophysiologiques*, Liège, Pierre Mardaga, 1980, 267 p.
- MARCHAND, Chrystel, *Pour une didactique de l'art musical*, Paris, L'Harmattan, 2009, 312 p.
- MARTIN, Franck et al., *Emile JAQUES-DALCROZE, l'homme, le compositeur, le créateur de la rythmique*, Neuchâtel, Editions de la Baconnière, 1965, 595 p.
- MAUSS, Marcel, *Sociologie et anthropologie*, Paris, PUF, 1968, 482 p. (chap VI, Les techniques du corps).
- MESSIAEN, Olivier, *Traité de rythme, de couleur, et d'ornithologie, (1949-1992)*, Tome I, Paris, Leduc, 1994, 375 p.
- MEYER, Leonard B., *Emotion and Meaning in Music*, Chicago, The University of Chicago Press, 1956/1992, 307 p.
- MIELL, Dorothy, MACDONALD, Raymond and HARGREAVES, David J. (ed.), *Musical communication*, New York, Oxford University Press, 2005, 433 p.
- MIM, « Les Unités Sémiotiques Temporelles - Eléments nouveaux d'analyse musicale », *MUSURGIA*, Marseille, Laboratoire Musique et Informatique de Marseille, 1996, 96 p.

- MOCQUEREAU, Dom André, *Le nombre musical grégorien ou rythmique grégorienne*, Paris, Desclée et Cie, 1908/1927, 429 p.
- MOLINO, Jean, *Le singe musicien*, Paris, Actes Sud/INA, 2009, 488 p.
- MOTTE-HABER, Helga de la, *Ein Beitrag zur Klassifikation musikalischer Rhythmen*, Köln, Arno Volk, 1968, 168 p.
- NATTIEZ, Jean-Jacques, *Musicologie générale et sémiologie*, Paris, Christian Bourgeois, 1987, 400 p.
- PINEAU, Marion et TILLMANN, Barbara, *Perception des structures musicales*, Paris, L'Harmattan, 2001, 189 p.
- PRATT, Jean-François, *L'expérience musicale, Exploration psychique*, Paris, L'Harmattan, 2003, 97 p.
- ROTEN, Hervé, *Les traditions musicales judéo-portugaises en France*, Paris, Ed. Maisonneuve et Larose, 2000, 282 p.
- SACHS, Curt, *Rhythm and Tempo : a Study in Music History*, W.W.Norton and Company, 1953, 391 p.
- SADAI, Yizhak, *Traité de sujets musicaux*, Paris, L'Harmattan, 2004, 503 p.
- SAUVANET, Pierre, *Le rythme grec, d'Héraclite à Aristote*, Paris, PUF, 1999, 127 p.
- SAUVANET, Pierre, *Le rythme et la raison, I Rythmologiques*, Paris, Kimé, 2000, 245 p.
- SAUVANET, Pierre, *Le rythme et la raison, II Rythmanalyses*, Paris, Kimé, 2000, 248 p.
- SCHAEFFER, Pierre, *Traité des objets musicaux Essai interdisciplines*, Paris, Seuil, 1966, 700 p.
- SCHAFER, Murray R., *Le paysage sonore*, Paris, Jean-Claude Lattès, 1979, 388 p.
- SERVIEN, Pius, *Les rythmes comme introduction physique à l'esthétique*, Paris, Boivin, 1930, 208 p.
- SÈVE, Bernard, *L'altération musicale, Ce que la musique apprend au philosophe*, Paris, Seuil, 2002, 359 p.
- SPAMPINATO, Francesco, *Les métamorphoses du son. Matérialité imaginative de l'écoute musicale*, Paris, L'Harmattan, 2008, 199 p.
- STERN, Daniel N., *Le moment présent en psychothérapie Un monde dans un grain de sable*, Paris, Odile Jacob, 2003, 302 p.

- STERN, Daniel N., *Les formes de vitalité, Psychologie, arts, psychothérapie et développement de l'enfant*, Paris, Odile Jacob, 2010, 217 p.
- SUTER, Louis-Marc, *Le langage musical de l'Europe occidentale*, Tome 1, Sprimont, Mardaga, 2005, 464 p.
- TRUSLIT, Alexander, *Gestaltung und Bewegung in der Musik, Ein tönendes Buch vom musikalischen Vortrag und seinem bewegungserlebten Gestalten und Hören*, Berlin-Lichterfelde, Chr. Friedrich Vieweg, 1938, 221 p.
- VYGOTSKY, Lev Semenovitch, *Psychologie de l'art*, Paris, La dispute, 2005, 381 p.
- WALLIN, Nils L., MERKER, Björn H., and BROWN, Steven (ed.), *The Origins of Music*, Cambridge, MIT, 2000, 498 p.
- WEBER, Max, *Sociologie de la musique, Les fondements rationnels et sociaux de la musique*, Paris, Métailié, 1998, 235 p.
- WILLEMS, Edgar, *Le rythme musical, Rythme-Rythmique-Métrique*, Fribourg, ProMusica, 1954/1984, 260 p.
- WUNENBURGER, Jean-Jacques (dir.), *Les rythmes Lectures et théories*, Paris, L'Harmattan, 1992, 247 p.

Contributions dans un ouvrage collectif

- AGAWU, Kofi, « Rythme », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 2, Les savoirs musicaux*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 89-115.
- AROM, Simha, « L'organisation du temps musical. Essai de typologie », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 5, L'unité de la musique*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2008, p. 927-944.
- ASHLEY, D. Richard, « Modélisation de l'écoute musicale : considérations générales », *La musique et les sciences cognitives*, éd. Stephen Mc Adams et Irène Deliège, 1989, p. 415-436.
- BISPHAM, John C., « Le modèle musical et ses caractéristiques : Motivation, pulsation et hauteur », *Musique et évolution*, éd. Irène Deliège, Olivier Vitouch et Olivia Ladinig, Wavre, Mardaga, 2010, p. 25-34.
- CHOUVEL, Jean-Marc, « Problèmes de topologie musicale : entre structure et cognition », *L'espace : Musique/Philosophie*, éd. Jean-Marc Chouvel et Makis Solomos, Paris, L'Harmattan, 1998, p. 116-128.
- CLARKE, Eric F., "Mind the gap : formal structures and psychological processes in music" *Contemporary Music Review*, Harwood Academic Publishers GmbH, Vol. 3, 1989, p. 1-13.

- CLARKE, Eric F., "Rhythm and Timing in Music", *The Psychology of Music*, ed. Diana Deutsch, London, Academic Press, 1982/1999, p. 473-500.
- CLARKE, Eric F., "Meaning and the specification of motion in music", *Musicae scientiae*, 5, 2001, p. 213-234
- DARBELLAY, Etienne, « Libertés dans la musique occidentale savante et écrite », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 5, L'unité de la musique*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2008, p. 577-599.
- DELIÈGE, Irène, « La perception de la musique », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, éd. Jean-Jacques Nattiez, vol. 2, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 359-389.
- DUFOURT, Hugues, « Musique et psychologie cognitive : les éléments porteurs de forme », *La musique et les sciences cognitives*, éd. Stephen Mc Adams et Irène Deliège, 1989, p. 327-334.
- FRAISSE, Paul, "Is rhythm a gestalt ?", *Gestalttheorie in der modernen Psychologie*, ed. S. Ertel, L. Kemmler and M. Sadler, Darmstadt, Steinkopff, 1975, p. 227-232.
- FRAISSE, Paul, "Rhythm and Tempo", *The Psychology of Music*, ed. Diana Deutsch, New York, Academic Press, 1982, p. 149-180.
- GABRIELSSON, Alf, "Rhythm in music", *Rhythm in Psychological, Linguistic and Musical Processes*, ed. James R. Evans and Manfred Clynes, Springfield, 1986, p. 131-167.
- GABRIELSSON, Alf, "The relationship between musical structure and perceived expression", *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford University Press, 2009, p. 141-150.
- GATEWOOD, Esther L., "An experimental study of the nature of musical enjoyment", *The effects of music*, ed. Max Schoen, New York, Harcourt Brace, 1927, p. 78-120.
- JONES, Mari Riess, "Musical Events and Models of Musical Time", *Cognitive Models of Psychological Time*, ed. Richard A. Block, Hillsdale, LEA, 1990, p. 207-240.
- JONES, Mari Riess, "Musical time", *Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford University Press, 2009, p. 81-92.
- JUSTUS, Timothy C. and BHARUCHA, Jamshed J., "Music Perception and Cognition", *Stevens' Handbook of Experimental Psychology, Volume 1 : Sensation et Perception*, ed. Steven Yantis and Hal Pashler, New York, Wiley, 2002, p. 453-492.
- KRUMHANSL, Carol L., « Problèmes inhérents aux approches théoriques et expérimentales de la recherche sur l'écoute et la compréhension », *La musique et les sciences cognitives*, éd. Stephen Mc Adams et Irène Deliège, Liège, Mardaga, 1989, p. 337-349.

- LEE, Christopher S., “The Rhythmic Interpretation of Simple Musical Sequences : Towards a Perceptual Model”, *Musical Structure and Cognition*, ed. Robert West, Peter Howell and Ian Cross, London, Academic Press, 1985, p. 53-69.
- LEMAN, Marc, STYNS, Frederik and BERNARDINI, Nicola, “Sound, Sense and Music Mediation : a Historical-Philosophical Perspective”, *Sound to Sense, Sense to Sound, A State of the Art in Sound and Music Computing*, ed. Pietro Polotti and Davide Rocchesso, Berlin, Logos Verlag Berlin, 2008, p. 15-46.
- MADURELL, François, *Elaboration des stimuli dans la recherche sur la perception musicale Une réflexion sur le matériau avant expérimentation*, Paris IV, OMF, 1995, 90 p.
- McAdams, Stephen, « La reconnaissance de sources et d'événements sonores », *Penser les sons : La psychologie auditive de l'audition*, éd. Stephen McAdams et Emmanuel Bigand, Paris PUF, 1994, p. 157-213.
- McADAMS, Stephen and GIORDANO, Bruno L., “The perception of musical timbre”, *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford University Press, 2009, p. 72-80.
- MERER, Adrien, YSTAD, Solvi, KRONLAND-MARTINET, Richard and ARAMAKI Mitsuko, “Semiotics of Sounds Evoking Motions : Categorization and Acoustic Features”, *Computer Music Modeling and Retrieval : Sense of Sounds*, ed. Richard Kronland-Martinet, Solvi Ystad and Kristoffer Jensen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, p. 139-158.
- MERER, Adrien, YSTAD, Solvi, KRONLAND-MARTINET, Richard and ARAMAKI Mitsuko, “Abstract Sounds and their Applications in Audio and Perception Research”, *Exploring Music Contents*, ed. Solvi Ystad, Mitsuko Aramaki, Richard Kronland-Martinet and Kristoffer Jensen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, p. 176-187.
- MOLINO, Jean, « Expérience et connaissance de la musique à l'âge des neurosciences », *Le temps et la forme. Pour une épistémologie de la connaissance musicale*, éd. Etienne Darbellay, Genève, Droz, 1998, p. 253-272.
- PATEL, Aniruddh D. and PERETZ, Isabelle, “Is music autonomous from language ? A neuropsychological appraisal”, *Perception and Cognition of Music*, ed. Irène Deliège and John A. Sloboda, Hove, Psychology Press, 1997, p. 191-215.
- PERETZ, Isabelle, « Le cerveau musical », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, éd. Jean-Jacques Nattiez, vol. 2, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 293-320.
- RIVIÈRE, Hervé, « D'un point de vue rythmique... », *Ndroje Balendro. Musiques, terrains et disciplines. Textes offerts à Simha Arom*, éd. Vincent Dehoux et al., Paris, Peeters, 1995, p. 295-301.

- SAMSON, Séverine and EHRLE, Nathalie, “Cerebral substrates for musical temporal processes”, *The Cognitive Neuroscience of Music*, ed. Isabelle Peretz and Robert Zatorre, New York, Oxford University Press, 2003, p. 204-216.
- SÉDÈS, Anne, “Création d’espaces sonores”, *Musiques, Arts et Technologies. Pour une approche critique*, éd. Roberto Barbanti, Enrique Lynch, Carmen Pardo et Makis Solomos, Paris, L’Harmattan, 2004, p. 79-91.
- SETHARES, William A., “Rhythm and Transforms, Perception and Mathematics”, *Mathematic and Computation in Music*, ed. Timour Klouche and Thomas Noll, Springer-Verlag, Berlin, 2009, p. 1-10.
- SCHERER, Klaus R. and ZENTNER, Marcel R., “Emotional effects of Music : Production Rules”, *Music and Emotion, Theory and Research*, ed. John A. Sloboda and Patrik N. Juslin, Oxford, Oxford University Press, 2001, p. 361-392.
- STEVENS, Kate and BYRON, Tim, “Universals in music processing”, *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford, Oxford University Press, 2009, p. 14-23.
- THAUT, Michael H., “Rhythm, human temporality, and brain function”, *Musical communication*, ed. Dorothy Miell, Raymond Macdonald and David J. Hargreaves, Oxford University Press, 2005, p. 171-191.
- VERCOE, Barus, “Computational auditory pathways to music understanding”, *Perception and Cognition of Music*, ed. Irène Deliège and John A. Sloboda, Hove, Psychology Press, 1997, p. 307-326.
- VILLELA-PETIT, Maria, « La phénoménalité spatio-temporelle de la musique », *L’espace : Musique/Philosophie*, éd. Jean-Marc Chauvel et Makis Solomos, Paris, L’Harmattan, 1998, p. 29-40.
- VIRET, Jacques, « Entre sujet et objet. L’herméneutique musicale comme méthodologie de l’écoute », *Approches herméneutiques de la musique*, éd. Jacques Viret, Presses Universitaires de Strasbourg, 2001, p. 283-296.

Revues

- Ateliers d’ethnomusicologie*, « Rythmes », Archives internationales de musique populaire, Genève, (10), 1997, 381 p.

Articles

- ARBO, Alessandro, « « Dis-toi que c’est une valse... » Réflexions sur un thème de Wittgenstein », *Musurgia*, XII(4), 2005, p. 45-62.
- BAMBERGER, Jeanne and BRODY, Martin, “Perceptual problem solving in music : some proposals for future research”, *Psychomusicology*, 4(1-2), 1984, p. 33-58.

- BARTOLI, Jean-Pierre et SGARD, Pierre-Marie, « Ecoute et analyse : antinomie ou synergie ? », *Analyse musicale*, (1), Novembre 1983, p. 3.
- BIGAND, Emmanuel et DELBÉ, Charles, « Apprentissage implicite en musique : Théorie et Modèles », *Intellectica*, (48), 2008/1, p. 13-26.
- BIGAND, Emmanuel et FILIPIC, Suzanne, « Cognition et émotion musicales », *Intellectica*, (48-49), 2008/1, p. 37-50.
- BISPHAM, John C., “Rhythm in Music : What is it ? Who has it ? And why ?”, *Music Perception*, 24(2), 2006, p. 125-134.
- BISPHAM, John C., “Music’s “design features” : Musical motivation, musical pulse, and musical pitch”, *Musicae Scientiae*, Special issue 2009-2010, p. 29-44.
- COX, Arnie, “Review of Steve Larson, *Musical Forces : Motion, Metaphor, and Meaning in Music*, *Society for Music Theory*, 19(1), 2013, p. 1-8.
- DARBELLAY, Etienne, « Remarques sur les concepts de mètre et de tempo », *Analyse musicale*, 17, 1991, p. 133-134.
- DAVIDSON, Jane W., “Visual perception of performance manner in the movements of solo musicians”, *Psychology of Music*, 21(2), 1993, p. 103-113.
- DELALANDE, François, « L’analyse musicale, discipline expérimentale ? », *Analyse musicale*, 23, 2^{ème} trim. 1991, p. 11-20.
- DELIÈGE, Irène, « La perception des formations élémentaires de la musique », *Analyse musicale*, 1, 4^e trim. 1985, p. 20-28.
- DELIÈGE, Irène, « Indices et empreintes dans l’écoute de la musique », *Analyse musicale*, 17, 1991, p. 135-139.
- DELIÈGE, Irène, « Perception et analyse de l’œuvre musicale : points de rencontre », *Analyse musicale*, 26, 1^{er} trim. 1992, p. 7-13.
- DELIÈGE, Irène, « De l’activité perceptive à la représentation mentale de l’œuvre musicale : L’extraction d’indices : un parallèle entre les processus de compréhension de textes et l’écoute de la musique », *Analyse musicale*, 28, 3^{ème} trim. 1992, p. 29-35.
- DELIÈGE, Irène et POVEL, Dirk-Jan, « Informer l’écoute », *Marsyas*, (1), Mai 1987, p. 7-17.
- DRAKE, Carolyn et BARUCH, Clarysse, « De la mesure de la sensibilité temporelle aux modèles d’organisation temporelle : hypothèses et données sur l’acquisition des capacités temporelles auditives », *L’Année psychologique*, (95), 1995, p. 555-569.
- EITAN, Zohar, GRANOT, Roni Y., “How Music Moves : Musical Parameters and Listeners’ Images of Motion”, *Music Perception*, 23, 2006, p. 221-247.

- ESSENS, Peter J. and POVEL, Dirk-Jan, “Metrical and nonmetrical representations of temporal patterns”, *Perception and Psychophysics*, 37(1), 1985, p. 1-7.
- FRAISSE, Paul, « Etude sur la mémoire immédiate. III. L’influence de la vitesse de présentation et de la place des éléments. La nature du présent psychologique », *L’Année psychologique*, 45-46(1), 1944, p. 29-42.
- FRAISSE, Paul, « Rythmes auditifs et rythmes visuels », *L’Année psychologique*, 49(1), 1948, p. 21-42.
- FRIGYESI, Judit, « De la métrique et du « rythme libre » », *Cahiers de musiques traditionnelles, Noter la musique*, n° 12, Genève, Ateliers d’ethnomusicologie, 1999, p. 55-73.
- GABRIELSSON, Alf, “Similarity ratings and dimension analyses rhythm patterns”, *Scandinavian Journal of Psychology*, 14-1, 1973, p. 138-160.
- GABRIELSSON, Alf, “Adjective ratings and dimension analyses rhythm patterns”, *Scandinavian Journal of Psychology*, 14-1, 1973, p. 244-260.
- GRAZIANO, Michael S.A., RIESS, Lina A.J., GROSS, Charles G., “A neuronal representation of the location of nearby sounds”, *Nature*, 397, 1999, p. 428-430.
- GROMKO, Joyce E. and POORMAN, Allison Smith, “Does perceptual-motor performance enhance perception of patterned art music?”, *Musicae Scientiae*, 2(2), 1998, p. 157-170.
- HAUTBOIS, Xavier, « Pour un autre énoncé des Unités Sémiotiques Temporelles », *Musicologies*, OMF, 9, 2012, p. 51-63.
- IANNONE, Alexandra Emilia, “Music and Motion”, *American Society for Aesthetics Graduate E-journal*, 3(1), 2010, p. 1-10.
- IVERSEN, John R., PATEL, Aniruddh D. and OHGUSHI, Kengo, “Perception of rhythmic grouping depends on auditory experience”, *Journal of Acoustical Society of America*, 124(4), October 2008, p. 2263-2271.
- JOHNSON, Mark L. and LARSON, Steve, “ ‘Something in the Way She Moves’ - Metaphors of Musical Motion”, *Metaphor and symbol*, 18(2), 2003, p. 63-84.
- LOPEZ CANO, Ruben, “What kind of affordances are musical affordances? A semiotic approach”, *Terzo Simposio Internazionale sulle Scienze del Linguaggio Musicale*, Bologna, 2006, p. 1-12.
- LUSSON, Pierre, « Place d’une théorie générale du rythme parmi les théories analytiques contemporaines », *Analyse Musicale*, 2, 1986, p. 44-51.
- MENON, Vinod and LEVITIN, Daniel J., “The rewards of music listening : response and physiological connectivity of the mesolimbic system”, *Neuroimage*, 28(1), 2005, p. 175-184.

- MERER, Adrien, ARAMAKI Mitsuko, YSTAD, Solvi, KRONLAND-MARTINET, Richard, “Perceptual Characterization of Motion evoked by Sounds for Synthesis Control purposes, *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, Vol. 10, issue 1, 2013, p. 1-24.
- NELISSEN, Koen *et al.*, “Observing others : multiple action representation in the frontal lobe”, *Science*, 310(5746), 2005, p. 332-336.
- PALMER, Caroline, “Anatomy of a performance : sources of musical expression”, *Music perception*, 13, 1996, p. 433-454.
- PENEL, Amandine, « Justin London, *Hearing in time : Psychological aspects of musical meter* », *Musicae Scientiae*, 10(2), 2006, p. 273-277.
- PÖPPEL, Ernst, “Lost in time : a historical frame, elementary processing units and the 3-second window”, *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64, 2004, p. 295-301.
- POVEL, Dirk-Jan, “Temporal Structure of Performed Music. Some Preliminary Observations”, *Acta Psychologica*, 41, 1977, p. 309-320.
- POVEL, Dirk-Jan, “Internal Representation of Simple Temporal Patterns”, *Journal Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 7(1), 1981, p. 3-18.
- POVEL, Dirk-Jan, “A Theoretical Framework for Rhythm Perception”, *Psychological Research*, 45, Springer-Verlag, 1984, p. 315-337.
- POVEL, Dirk-Jan and HOKKERMAN, Hans, “Accents in equitone sequences”, *Perception & Psychophysics*, 30, 1981, p. 565-572.
- RIEMANN, Hugo, « Rhythm », *Dictionary of Music*, London, Augener, 1931, p. 651-652.
- RUWET, Nicolas, « Méthodes d’analyse en musicologie », *Revue belge de musicologie*, (20), 1966, p. 65-90.
- SADAI, Yizhak, « Analyse musicale : par l’oeil ou par l’oreille ? », *Analyse musicale*, 1, novembre 1985, p. 13-19.
- SEASHORE, Robert H., “Studies in motor rhythm”, *Psychological monographs*, 36(1), 1926, p. 142-189.
- SHMULEVICH, Ilya *et al.*, “Perceptual Issues in Music Pattern Recognition : Complexity of Rhythm and Key Finding”, *Computers and the Humanities*, (35), 2001, p. 23-35.
- SMITH, Leigh M. and HONING, Henkjan, “Time-Frequency Representation of Musical Rhythm by Continuous Wavelets”, *Journal of Mathematics and Music*, 2007, p. 1-24.
- TECCHIO, Franca *et al.*, “Conscious and preconscious adaptation to rhythmic auditory stimuli : a magnetoencephalographic study of human brain responses”, *Experimental Brain Research*, 135, 2000, p. 222-230.

THAUT, Michael H., “Neural Basis of Rhythmic Timing Networks in the Human Brain”, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 2003, p. 364-373.

THAUT, Michael H. *et al.*, “The Connection between Rhythmicity and Brain Function”, *Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 18(2), 1999, p. 101-108.

VECCHIONE, Bernard, « Eléments d’analyse du mouvement musical », *Analyse musicale*, 8, 3^{ème} trim. 1987, p. 17-23.

VECCHIONE, Bernard, « Trois problèmes de perception musicale », *Marsyas*, (7), Septembre 1988, p. 61-68.

Travaux universitaires

ABECASIS, Donna, *Neurophysiological bases of sound sequence processing in real time : a study of metrical accents*, Thèse de doctorat, Paris 5, Psychologie, dir. Carolyn Drake, 2006, 235 p.

FREY, Aline, *Traitement perceptif et auditif de l’information auditive et musicale : segmentation des flux et figures sonores*, Thèse de doctorat, Université Paris 8, Psychologie des processus cognitifs, dir. Charles Tijus, 2009, 251 p.

GUILLOT, Gérald, *Des objets musicaux implicites à leur didactisation formelle exogène : transposition didactique interne du suíngue brasileiro en France*, Thèse de doctorat, Université Paris Sorbonne, Musicologie, dir. Jean-Marc Chouvel, 2011, 843 p.

MERER, Adrien, *Caractérisation perceptive et acoustique du mouvement évoqué par les sons pour le contrôle de la synthèse*, Thèse de doctorat, Université de Provence Aix-Marseille, Acoustique, dir. Sølvi Ystad et Richard Kronland, 2011, 142 p.

PINEAU, Marion, *Perception et intégration des événements musicaux*, Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Psychologie, dir. Emmanuel Bigand, 1998, 309 p.

RUSSOVICH, Adrian, *De l’analyse à la composition. Transformation des durées*, Thèse de doctorat, Université Paris 4, Musique et musicologie, dir. Pascal Robert et Jean-Yves Bosseur, 2003, 663 p.

Actes de colloques et Congrès

CLARKE, Eric F. and WINDSOR, W. Luke, “Dynamic information for meter”, *Fourth Rhythm Workshop : Rhythm Perception and Production*, Bourges, June 1992, p. 105-106.

GOBIN, Pascal et DELALANDE, François, « Les unités sémiotiques temporelles Un niveau d’analyse de l’organisation musicale du temps », *Les Universaux en musique*, Actes du 4^e Congrès international sur la signification musicale, éd. Costin Mioreanu et Xavier Hascher, 1992, p. 573-587.

Le rythme, Actes de la journée du 23 mars 2005 des 2èmes rencontres interartistiques de l'OMF, Textes réunis et édités par Philippe Lalitte, 2006, 114 p.

LIDOV, David, « La mesure musicale. Mesure de notation et mesure d'audition », *Les Universaux en musique*, Actes du 4^e Congrès international sur *la signification musicale*, éd. Costin Mioreanu et Xavier Hascher, 1992, p. 629-634.

MADURELL, François, « L'acceptabilité des modifications systématiques du matériau musical : le point de vue du musicologue et du pédagogue », Actes de la 3^e Conférence Internationale pour la *Perception et cognition musicales*, Université de Liège, éd. Irène Deliège, Juillet 1994, p. 187-188.

PETIT, Christine, « Perception du rythme et de la métrique », *Perception de la musique*, Collège de France, Paris, 10 mars 2016.

STEFANI, Gino, « Le sens du rythme », *Les Universaux en musique*, Actes du 4^e Congrès international sur *la signification musicale*, éd. Costin Mioreanu et Xavier Hascher, 1992, p. 559-573.

Vers une sémiotique générale du temps dans les arts, Actes du colloque "Les Unités Sémiotiques Temporelles (UST), nouvel outil d'analyse musicale : théories et applications" Marseille 7-9 décembre 2005, sous la direction de Emmanuelle Rix et Marcel Formosa, Coédition Ircam - Centre Pompidou/Delatour France, 2008, 340 p.

Consultation Web

AUCOIN, Michel, « Susanne Langer et le symbolisme artistique : Essai de synthèse », *Recherche en éducation musicale*, 57 p., www.mus.ulaval.uca, le 13/02/2013.

Encyclopédie de Diderot et d'Alembert, « Rythme », www.Musicologie.org/sites/r/rythme.html, le 12/12/2010.

L'homme et ses rythmes, Séminaire de l'École Normale Supérieure, Paris, 2006-2008, www.europhilosophie.eu/recherche/IMG/pdf/prog_rythmes.pdf, le 16/10/2011.

MacGUINNESS, Andrew, "Do discontinuous temporal windows in metrical music point to open-loop motor control? A musicological and cross-cultural analysis of rhythmic timing planning", Australian Centre for the Arts & Technology, Australian National University, Canberra, 2000, 6 p., www.open.ac.uk, le 18/03/2010.

MUSIMEDIANE, « Les Unités Sémiotiques Temporelles : enjeux pour l'analyse et la recherche », N° 5, mars 2010, www.musimediane.com, le 05/03/2011.

PICARD, François, « Rythmes et durées, pour une musicologie généralisée », Document CRLM, Paris-Sorbonne, www.crlm.paris4.sorbonne.fr/ethnomusicologie/Rythmes.pdf, le 18/10/2011.

SCHÖN, Daniele, « Rythmes », www.cognisud.org, le 16/04/2009.

DVD

Laboratoire Musique et Informatique de Marseille, *Les Unités Sémiotiques Temporelles : Nouvelles clés pour l'écoute*, CD-ROM, Marseille, 2002.

3 Description corporelle et graphique du mouvement du rythme

ANGELINO, Lucia (dir.), *Quand le geste fait sens*, Mimésis, 2015, 202 p.

BEAULIEU, Désiré, *Du rythme et des effets qu'il produit et de leurs causes*, Paris, Richault, 1853, 105 p.

BELIC, Milija, *Apologie du rythme. Le rythme plastique : prolégomènes à un méta-art*, Paris, L'Harmattan, 2002, 332 p.

BERGER, Eve, *Le mouvement dans tous ses états, Les recherches de Danis Bois*, Paris, Point d'appui, 1999, 205 p.

BERTHOZ, Alain, *Le sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob, 1997, 345 p.

BERTIN, Jacques, *Sémiologie graphique : les diagrammes, les réseaux, les cartes...*, Paris, Gauthier-Villars, 1964, 431 p.

BONNET, Claude et LESTIENNE, Francis, *Percevoir et produire le mouvement*, Paris, A. Colin, 2003, 185 p.

BORILLO, Mario et SAUVAGEOT, Anne, *Les cinq sens de la création. Art, Technologie, Sensorialité*, Seyssel, Champ Vallon, 1996, 218 p.

BOSSEUR, Jean-Yves, *Musique et arts plastiques, Interactions au XX^e siècle*, Minerve, 1998, 318 p.

BOSSEUR, Jean-Yves, *Vocabulaire des arts plastiques du XX^e siècle*, Paris, Minerve, 1998, 236 p.

BOSSEUR, Jean-Yves, *Du son au signe : histoire de la notation musicale*, Paris, Ed. Alternatives, 2005, 143 p.

BOSSEUR, Jean-Yves, *La musique du XX^e siècle à la croisée des arts*, Paris, Minerve, 2008, 252 p.

BOSSEUR, Jean-Yves, SCHOENDORFF, Max et TASSET, Annie, *Mu-sique en vue*, Lyon, URDLA, 2002, 153 p.

- BOUISSOU, Sylvie, GOUBAULT, Christian et BOSSEUR, Jean-Yves, *Histoire de la notation : de l'époque baroque à nos jours*, Paris, Minerve, 2005, 294 p.
- BOULEZ, Pierre, *Le pays fertile : Paul Klee*, Paris, Gallimard, 1989, 180 p.
- BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes, *Attitudes et Mouvements: étude fonctionnelle du mouvement humain*, Paris, Desclée de Brouwer, 1957, 494 p.
- CARUANA, Francesca, *Peirce et une introduction à la sémiotique de l'art*, Paris, L'Harmattan, 2009, 323 p.
- CHAILLEY, Jacques, *La musique et le signe*, Paris, L'Harmattan, 1967, 164 p.
- CHALLET-HAAS, Jacqueline, *Grammaire de la notation Laban, Cinétopographie Laban*, Vol. 1 et 2, 1999, Paris, CND, 88 p., 148 p.
- COMETTI, Jean-Pierre, *Art, représentation, expression*, Paris, PUF, 2002, 127 p.
- COSTE, Jean-Claude, *Corps et graphie : l'expression psychomotrice de l'enfant dans le dessin et la peinture*, Paris, Epi, 1975, 156 p.
- DALLET, Sylvie et VEITL, Anne, *Du sonore au musical, Cinquante années de recherches concrètes (1948-1998)*, Paris, l'Harmattan, 2001, 461 p.
- DARRAS, Bernard (dir.), *Icône, Image*, Paris, L'Harmattan, 1997, 175 p.
- DENÈGRE, Jean, *Sémiologie et conception cartographique*, Paris, Hermès, 2005, 277 p.
- DENIS, Michel, *Image et cognition*, Paris, PUF, 1989/1994, 284 p.
- DENIZEAU, Gérard (dir.), *Le visuel et le sonore. Peinture et musique au XX^e siècle. Pour une approche épistémologique*, Paris, Champion, 1998, 203 p.
- DENIZEAU, Gérard, *Musique et arts*, Paris, Champion, 1995, 264 p.
- DENIZEAU, Gérard, *Musique et arts visuels*, Paris, Champion, 2004, 238 p.
- DENIZEAU, Gérard et PISTONE, Danièle (dir.), *La musique au temps des arts Hommage à Michèle Barbe*, Paris, PUPS, 2010, 274 p.
- DUFRENNE, Mikel, *L'œil et l'oreille*, Paris, Jean-Michel Place, 1991, 200 p.
- DURAND, Marc, *L'enfant et le sport*, PUF, Paris, 1987, 240 p.
- ESCLAPEZ, Christine, *La musique comme parole des corps*, Paris, L'Harmattan, 2007, 260 p.
- FELGINE, Odile, *Henri Michaux*, Neuchâtel, Ides et Calendes, 2003, 143 p.

- FOCILLON, Henri, *Eloge de la main*, Paris, PUF, 128 p.
- FRANCÈS, Robert, *La perception de la musique*, Paris, Vrin, 1958/1984/2002, 422 p.
- FRANCÈS, Robert (dir.), *Psychologie de l'art et de l'esthétique*, Paris, PUF, 1979, 313 p.
- GODØY, Rolf Inge and LEMAN, Marc (ed.), *Musical Gestures Sound, Movement, and Meaning*, New York, Routledge, 2010, 307 p.
- GOODMAN, Nelson, *Langages de l'art. Une approche de la théorie des symboles*, Nîmes, Ed. Jacqueline Chambon, 1968, trad. 1990, 312 p.
- GOODY, Jack, *La raison graphique, La domestication de la pensée sauvage*, Paris, Les Editions de Minuit, 1979, 274 p.
- GOODY, Jack, *Entre l'oralité et l'écriture*, Paris, PUF, 1994, 305 p.
- GROUPE μ , *Traité du signe visuel. Pour une rhétorique de l'image*, Paris, Seuil, 1992, 504 p.
- GUERIN, Michel, *La philosophie du geste*, Arles, Actes Sud, 77 p.
- GUIRARD, Laurent (dir.), *Cinquante ans de psychologie de la musique : l'école de Robert Francès*, Montauban, Alexitère, 2010, 205 p.
- HENRY, Michel, *Voir l'invisible. Sur Kandinsky*, Paris, PUF, 2005, 248 p.
- HILDEBRANDT, Adolf, *Le problème de la forme dans les arts plastiques*, Paris, L'Harmattan, 1913/trad. française 2002, 116 p.
- HODGINS, Paul, *Relationships between score and choreography in twentieth-century dance: music, movement and metaphor*, E. Mellen Press, Lewiston, New York, 1992.
- HUSSERL, Edmund, *Chose et espace, Leçons de 1907*, Paris, PUF, 1907/ Trad. 1973/1989, 493 p.
- IMBERTY, Michel et GRATIER, Maya (dir.), *Temps, geste et musicalité*, Paris, L'Harmattan, 2007, 282 p.
- JAQUES-DALCROZE, Emile, *Le rythme, la musique et l'éducation*, Paris, Fischbacher, 1920, rééd. Foetisch, Genève, 1965, 178 p.
- JOHNSON, Mark, *The body in the Mind, The Bodily Basis of Meaning, Imagination and Reason*, Chicago, The University of Chicago, 1987, 234 p.
- JOLY, Martine, *L'image et les signes : Approche sémiologique de l'image fixe*, Paris, Nathan, 1994, 191 p.
- JOUSSE, Marcel, *L'anthropologie du geste*, Paris, Gallimard, 1974.

- JUNOD, Philippe, *Contrepoints. Dialogues entre musique et peinture*, Genève, Contrechamps, 2006, 217 p.
- KANDINSKY, Vassily, *Écrits complets, T.II, La forme*, Paris, Denoël, 1970, 410 p.
- KANDINSKY, Vassily, *Écrits complets, T.III, La synthèse des arts*, Paris, Denoël, 1975, 402 p.
- KANDINSKY, Vassily, *Du spirituel dans l'art, et dans la peinture en particulier*, Paris, Denoël, 1989, 216 p.
- KANDINSKY, Vassily, *Point et ligne sur plan Contribution à l'analyse des éléments de la peinture*, Paris, Gallimard, 1991, 249 p.
- KINTZLER, Catherine (dir.), *Peinture et musique, Penser la vision, penser l'audition*, Lille, Presses universitaires du Septentrion, 2003, 230 p.
- KLEE, Paul, *Théorie de l'art moderne*, Paris, Gallimard, 1925, 153 p.
- KLEE, Paul, *Cours du Bauhaus ; Weimar. 1921-1922 ; contributions à la théorie de la forme picturale*, Paris, Hazan, 2004, 222 p.
- LAKOFF, George, JOHNSON, Mark, *Les métaphores dans la vie quotidienne*, Paris, Les Editions de Minuit, 1986, 254 p.
- LAKOFF, George, JOHNSON, Mark, *Philosophy in the Flesh, The embodied mind and its challenge to Western thought*, New York, Basic Books, 1999, 624 p.
- LAUXEROIS, Jean et SZENDY, Peter (dir.), *De la différence des arts*, Paris, Ircam - L'Harmattan, 1997, 347 p.
- LEMAN, Marc, *Embodied Music Cognition and Mediation Technology*, Cambridge, MIT Press, 2008, 297 p.
- LEROI-GOURHAN, André, *Le geste et la parole, Tome I, Technique et langage*, Paris, Albin Michel, 1964, 323 p.
- LEROI-GOURHAN, André, *Le geste et la parole, Tome II, Mémoire et rythmes*, Paris, Albin Michel, 1965, 287 p.
- LEVI-STRAUSS, Claude, *Regarder, écouter, lire*, Paris, Plon, 1993, 188 p.
- LÉVY, Fabien (dir.), *Les écritures du temps (Musique, Rythme, etc.)*, Paris, L'Harmattan Ircam, 2001, 237 p.
- LHÔTE, André, *Les invariants plastiques*, Paris, Herman, 1967, 171 p.
- MARKS, Lawrence E., *The Unity of the Senses : Interrelations among the Modalities*, New York, Academic Press, 1978, 302 p.

- MELOT, Michel, *Une brève Histoire de l'Image*, Paris, L'œil Neuf, 2007, 137 p.
- MERLEAU-PONTY, Maurice, *Phénoménologie de la perception*, III, 2, *La temporalité*, Paris, Gallimard, 1945, p. 469-493.
- MEUNIER-FROMENTI, Jacqueline, *Musique et mouvement*, Paris, Vigot, 1991, 127 p.
- MICHAUX, Henri, *Mouvements*, Paris, Gallimard, 1951, 88 p.
- MICHAUX, Henri, *Par la voie des rythmes*, Montpellier, Fata Morgana, 1974, 150 p.
- MIRZABEKIANTZ, Eliane, *Grammaire de la notation Benesh*, Paris, CND, 2000, 132 p.
- MORIZOT, Jacques, *La philosophie de l'art de Nelson Goodman*, Nîmes, Jacqueline Chambon, 1996, 255 p.
- MOSZYNSKA, Anna, *L'art abstrait*, Paris, Ed. Thames and Hudson SARL, 1998, 240 p.
- MROCZKOWSKI, Stéphane, *Paul Klee. Temps du peintre*, Paris, L'Harmattan, 2002, 144 p.
- MUNRO, Thomas, *Les Arts et leurs relations mutuelles*, Paris, PUF, 1949/ trad. française 1954, 454 p.
- O'CONNOR, Neil and HERMELIN, Beate, *Seeing and Hearing and Space and Time*, London, Academic Press, 1978, 156 p.
- PACZYNSKI, Stanislas Georges, *Rythme et geste*, Paris, Zurfluh, 1988, 379 p.
- PROUST, Joëlle (dir.), *Perception et intermodalité*, Paris, PUF, 1997, 303 p.
- RENARD, Claire, *Le geste musical*, Paris, Hachette - Van de Velde, 1982, 143 p.
- RENARD, Claire, *Le temps de l'espace*, Paris, Van de Velde, 1991, 70 p.
- REYT, Claude, *Les activités plastiques*, Paris, Armand Colin, 1987/1992, 175 p.
- RIZZOLATTI, Giacomo et SINIGAGLIA, Corrado, *Les neurones miroirs*, Paris, Odile Jacob, 2008, 236 p.
- ROWELL, Margit, *La peinture, le geste, l'action*, Paris, Klincksieck, 1972, 162 p.
- SCHMAHMANN, Jeremy D., *The Cerebellum and Cognition*, New York, Academic Press, 1997.
- SCRIPTURE, E. W., *Thinking, feeling and doing, An introduction to mental science*, New York, Putnam's sons, 1907, 261 p.
- SEASHORE, Carl Emil, *Psychology of Music*, New York, McGraw-Hill Book Company, 1938.

- SOURIAU, Etienne, *La correspondance des arts : éléments d'esthétique comparée*, Paris, Flammarion, 1969, 319 p.
- SOURIAU, Paul, *L'esthétique du mouvement*, Paris, Alcan, 1889, 337 p.
- TARASTI, Eero, *La musique et les signes, précis de sémiotique musicale*, Paris, L'Harmattan, 2006, 377 p.
- TISSERON, Serge, *Psychanalyse de l'image, Des premiers traits au virtuel*, Paris, Dunod, 1995, 224 p.
- TUFTE, Edward R., *The Visual Display of Quantitative Information*, Cheshire, Graphics Press, 1983, 197 p.
- TUFTE, Edward R., *Envisioning Information*, Cheshire, Graphics Press, 1990/1998, 126 p.
- TUFTE, Edward R., *Visual explanations : images and quantities, evidence and narrative*, Cheshire, Graphics Press, 1997, 156 p.
- VARELA, Francisco J., *Connaître les sciences cognitives Tendances et perspectives*, Paris, Seuil, 1989, 122 p.
- VARELA, Francisco J., THOMPSON, Evan et ROSCH, Eleanor, *L'inscription corporelle de l'esprit*, Paris, Seuil, 1993, 377 p.
- VEGA, Manuel de, GLENBERG, Arthur M. and GRAESSER, Arthur C. (ed.), *Symbols and Embodiment Debates on meaning and cognition*, Oxford University Press, 2008, 445 p.
- WAHL, Marcelle, *Le mouvement dans la peinture*, Paris, PUF, 1936/1955, 178 p.
- WUNDT, Wilhelm M., *Eléments de psychologie physiologique*, Paris, Alcan, 1874/trad. 1886.

Contributions dans un ouvrage collectif

- BADIR, Sémir, « A quoi servent les graphiques », *Visible*, n° 4, Limoges, Presses universitaires de Limoges, 2008, p. 173-194.
- BAILY, John, “Music Structure and Human Movement”, *Musical Structure and Cognition*, ed. Robert West, Peter Howell and Ian Cross, London, Academic Press, 1985, p. 237-258.
- BERTHOZ, Alain, “La coopération des sens et du regard dans la perception du mouvement”, *Le corps en jeu*, éd. O. Alan, Paris, CNRS Edition, 1993, p. 17-25.
- BERTHOZ, Alain, “Neural basis of decision in perception and in the control of movement”, *Neurobiology of decision making*, ed. Antonio R. Damasio *et al.* Berlin, Springer Verlag, 1996, p. 83-100.

- CARAMIAUX, Baptiste, BÉVILACQUA, Frédéric and SCHNELL, Norbert, “Towards a Gesture-Sound Cross-Modal Analysis”, *Gesture in Embodied Communication and Human Computer Interaction*, ed. Stefan Kopp and Ipke Wachsmuth, Bielefeld Germany, Springer, 2010, p. 158-170.
- CHEMILLIER, Marc, « Représentations musicales et représentations mathématiques », *Musique et schème. Entre percept et concept*, éd. Béatrice Ramaut-Chevassus, Presses Universitaires de Saint-Etienne, 2007, p. 215-237.
- CLARKE, Eric F., “Structure and Expression in Rhythmic Performance”, *Musical Structure and Cognition*, ed. Robert West, Peter Howell and Ian Cross, London, Academic Press, 1985, p. 209-236.
- CLYNES, Manfred and WALKER, Janice, “Neurobiologic functions of rhythm, time, and pulse in music”, *Music, Mind, and Brain : The neuropsychology of Music*, ed. Manfred Clynes, New York, Plenum Press, 1982, p. 171-216.
- COWAN, Nelson, “An Embedded Processes Model of Working Memory”, *Models of Working Memory : Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, ed. Akira Miyake and Priti Shah, Cambridge, Cambridge University Press, 1999, p. 62-101.
- DEAN, Roger T., BYRON, Tim, BAILES, Freya A., « Les pulsations de la symétrie : une possible co-évolution rythmique de musique et de la danse ? », *Musique et évolution*, éd. Irène Deliège, Olivier Vitouch et Olivia Ladinig, Wavre, Mardaga, 2010, p. 281-299.
- EDELIN, Francis, KLINKENBERG, Jean-Marie, « Voir, percevoir, concevoir. Du sensoriel au catégoriel. Groupe μ », *Ateliers de sémiotique visuelle*, éd. Anne Hénault et Anne Beyaert, Paris, PUF, 2004, p. 65-82.
- HODGES, Donald A., “Bodily responses to music”, *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford University Press, 2009, p. 121-129.
- JOLY, Philippe, « Description du mouvement et outils d’aide à la création chorégraphique », *Cognition et création, Explorations cognitives des processus de conception*, éd. Mario Borillo et Jean-Pierre Goulette, Bruxelles, Mardaga, 2002, p. 235-256.
- KRONMAN, Ulf and SUNDBERG, Johan, “Is the musical ritard an allusion to physical motion?”, *Action and Perception in Rhythm and Music*, ed. Alf Gabrielsson, Royal Swedish Academy of Music, 1987, p. 57-68.
- KRUEGER, Ted, « Des interfaces aux médias non symboliques », *Esthétique des arts médiatiques, interfaces et sensorialité*, éd. Louise Poissant, Presses Universitaires du Québec, 2003, p. 123-142.
- NATTIEZ, Jean-Jacques et NANNYONGA-TAMUSUZA, Sylvia, « Rythme, danse et sexualité : une danse ougandaise d’initiation au mariage », *Musiques : une*

- encyclopédie pour le XXI^e siècle, vol. 3, Musiques et cultures*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2005, p. 1108-1129.
- PAILLARD, Jacques “Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l’action”, *Recherche en activités physiques et sportives*, éd. M. Laurent et P. Therme, Marseille, UEREPS, 1985, p. 147-163.
- PAILLARD, Jacques, “Réactifs et prédictifs : deux modes de gestion de la motricité”, *Pratiques sportives et modélisation du geste*, éd. V. Nougier et J. P. Bianqui, Grenoble, Sciences, 1990, p. 13-56.
- REGNAULT, Cécile, « Correspondances entre graphisme et son : les représentations visuelles de l’objet sonore », *Du sonore au musical. Cinquante années de recherches concrètes (1948-1998)*, éd. Sylvie Dallet et Anne Veitl, Paris, L’Harmattan, 2001, p. 307-337.
- REPP, Bruno H., “Musical synchronization”, *Music, Motor Control and the Brain*, ed. Eckart Altenmüller, Mario Wiesendanger, Jürg Kesselring, Oxford University Press, 2006, p. 55-76.
- REYBROUCK, Mark, “Musical Imagery between Sensory Processing and Ideomotor Simulation”, *Musical Imagery*, ed. Rolf I. Godøy and Harald Jørgensen, Swets and Zeitlinger, 2001, p. 117-136.
- ROUGET, Gilbert, « Transcrire ou décrire ? Chant soudanais et chant fuégien », *Echanges et communications Mélanges offerts à Claude Lévi-Strauss*, éd. Jean Pouillon et Pierre Maranda, Paris, Mouton, 1970, p. 677-706.
- SCALDAFERRI, Nicola, « Pourquoi écrire les musiques non écrites ? Esquisse d’une anthropologie de l’écriture de la musique », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 5, L’unité de la musique*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2008, p. 627-666.
- SEARS, William W., “The effect of music on muscle tonus”, *Music therapy*, ed. E. Gaston, Kansas, Allen Press, 1958, p. 199-205.
- SHOVE, Patrick and REPP Bruno H., “Musical motion and performance : Theoretical and empirical perspective”, *The practice of performance : studies in musical interpretation*, ed. J. Rink, Cambridge, 1995, p. 55-83.
- THON, Bernard et CADOPI, Marielle, « Penser le mouvement », *Approches cognitives de la création artistique*, éd. Mario Borillo, Sprimont, Mardaga, 2005, p. 79-95.
- TODD, Neil, P. McAngus, “Music and Motion : a personal view”, *Perception et production du rythme*, éd. Catherine Auxiette, Carolyn Drake et Claire Gérard, 8-12 juin, Bourges, 1992, p. 123-127.
- TOKUMARU, Yoshihiko, « Le rôle de la notation musicale dans le monde non occidental : l’exemple de l’Asie orientale », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol.*

5, *L'unité de la musique*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2008, p. 601-626.

VIVIANI, Paolo, "Motor-perceptual interactions: The evolution of an idea.", *Golem Monograph Series 1: Cognitive Sciences in Europe. Issues and Trends*, ed. M. Piattelli-Palmarini, 1990, p. 11-39.

Revues

ATELIERS D'ETHNOMUSICOLOGIE, *Noter la musique*, Cahiers de musiques traditionnelles 12, Genève, 1999, 25 p.

Musique et cognition, Intellectica, (48-49), 2008/1-2, 249 p.

Repenser le corps, l'action et la cognition avec les neurosciences, Intellectica, (36-37), 2003/1-2, 457 p.

Articles

« A la jointure de l'intelligible et du sensible : analyse comparée Musique, Peinture, Littérature », *Analyse musicale*, 4, Juin 1986.

BAUMANN, Simon *et al.*, "A network for audio-motor coordination in skilled pianists and non-musicians", *Brain Research*, 1161, 2007, p. 65-78.

BAUMGARTEN, Franziska, « Classification des mouvements manuels d'après l'habileté », *L'année psychologique*, 36(1), 1935, p. 157-161.

BECKER, Judith, « L'action-dans-le-monde. Emotion musicale, mouvement musical et neurones miroirs », *Cahiers d'Ethnomusicologie*, (23), 2010, p. 29-52.

BESSON, Dominique, « La transcription des musiques électroacoustiques : que noter, comment et pourquoi ? », *Analyse musicale*, 24, 3^{ème} trim. 1991, p. 37-41.

BIGAND, Emmanuel *et al.*, « Multidimensional scaling of emotional responses to music : The effect of musical expertise and of the duration of the excerpts », *Cognition and Emotion*, 19(8), 2005, p. 1113-1139.

BLOOD, A. and ZATORRE Robert J., "Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion", *Proceedings of the National Academy of sciences of the United State of America*, 98, 2001, p. 11818-11823.

BOLTON, Thaddeus L., "Rhythm", *American Journal of Psychology*, 6, 1894, p. 145-238.

BRIL, Blandine, « Description du geste technique : quelles méthodes ? », *Techniques & Culture*, 3, 1984, p. 81-96.

- BRUCHON, Marilou, « Les mouvements expressifs et la personnalité », *L'année psychologique*, 73(1), 1973, p. 311-337.
- CANAZZA, Sergio *et al.*, “Kinematics-energy space for expressive interaction in music performance”, in Proceedings of MOSART, Workshop on current research directions in computer music, Barcelona, 2001, p. 35-40.
- CARRICK Frederick R. *et al.*, “Posturographic changes associated with music listening”, *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 13(5), 2007, p. 519-526.
- CHEN, Joyce L., ZATORRE, Robert J. and PENHUNE, Virginia B., “Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms”, *NeuroImage*, 32, 2006, p. 1771-1781.
- CHEN, Joyce L., PENHUNE, Virginia B. and ZATORRE, Robert J., “Moving on Time : Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(2), 2008, p. 226-239.
- CHEN, Joyce L., PENHUNE, Virginia B. and ZATORRE, Robert J., “Listening to Musical Rhythms Recruits Motor Regions of the Brain”, *Cerebral Cortex*, 2008, p. 1-11.
- CAZES, Pierre, « La notation musicale à l'époque baroque : une lecture pour l'interprétation », *Analyse musicale*, 24, 3^{ème} trim. 1991, p. 23-30.
- CLYNES, Manfred, “Santics : Biocybernetics of Emotion Communication”, *Annals of the New York Academy of Sciences*, New York, 220, 1973, p. 55-131.
- COHEN, Annabel J., “Understanding Musical Soundtracks”, *Empirical Studies of the Arts*, 8(2), 1990, p. 111-124.
- COURT, Raymond, « Musique et mouvement », *Analyse musicale*, 8, 3^{ème} trim. 1987, p. 7-16.
- COX, Arnie, “Verticality, Conceptual Blending, and the Mimetic Hypothesis”, *Society for Music Theory*, Atlanta, 1999.
- COX, Arnie, “The Mimetic Hypothesis and Embodied Musical Listening”, *Musicae Scientiae*, 5(2), 2001, p. 195-209.
- De BRUYN, Leen, MOELANTS, Dirk, LEMAN, Marc, “An embodied Approach to Testing Musical Empathy in Participants With an Autism Spectrum Disorder”, *Music and Medicine*, 4(1), p. 28-36.
- DELALANDE, François, « Faut-il transcrire la musique écrite ? », *Analyse musicale*, 24, 3^{ème} trim. 1991, p. 13-18.
- DESAIN, Peter and HONING, Henkjan, “Music, Mind and Machine : Studies in Computer Music, Music Cognition and Artificial Intelligence”, *Computer Music Journal*, 19(2), 1992, p. 107-110.

- DE VRIES, Bart, "Assessment of the Affective Response to Music with Clynes's Sentograph", *Psychology of Music*, 19(1), 1991, p. 46-64.
- DISERENS, Charles M., "Reactions to musical stimuli", *Psychological Bulletin*, 20(4), 1923, p. 173-199.
- DRAKE, Carolyn, BOTTE, Marie-Claire, "Tempo sensitivity in auditory sequences : Evidence for a multiple look model", *Perception and Psychophysics*, 54(3), 1993, p. 277-286.
- EHRlich, Stéphane, « Le mécanisme de la synchronisation sensori-motrice. Etude expérimentale », *L'Année psychologique*, 58(1), 1958, p. 7-23.
- EITAN, Zohar, "Introduction : Music and Cross-Modal Interaction", *International Conference on Music Perception and Cognition*, Evanston, 2004, p. 55-56.
- FRAISSE, Paul, « Mouvements rythmiques et arhythmiques », *L'Année psychologique*, 47-48, 1946, p. 11-27.
- FRAISSE, Paul, « L'anticipation de stimulus rythmiques. Vitesse d'établissement et précision de la synchronisation », *L'Année psychologique*, 66(1), 1966, p. 15-36.
- FRAISSE, Paul *et al.*, « Note sur la constance et l'évolution génétique du tempo moteur spontané », *Enfance*, 7(1), 1954, p. 25-34.
- FRAISSE, Paul et ORSINI, Francine, « Etude des conduites temporelles. I. L'attente », *L'Année psychologique*, 55(1), 1955, p. 27-39.
- FRAISSE, Paul, OLÉRON, Geneviève et PAILLARD, Jacques, « Les effets dynamogéniques de la musique. Etude expérimentale », *L'Année psychologique*, (1), 1953, p. 1-34.
- FRANCÈS, Robert et BRUCHON-SCHWEITZER, Marilou, « Expression musicale et expression corporelle », *L'Année psychologique*, 82, 1982, p. 155-172.
- GALLESE, Vittorio, "The « shared manifold » Hypothesis : From mirror neurons to empathy", *Journal of Consciousness Studies*, (8), 2001, p. 33-50.
- GJERDINGEN, Robert O., "Shape and Motion in the Microstructure of Song", *Music Perception*, 6, 1988, p. 35-64
- GODØY, Rolf Inge, "Motor-Mimetic Music Cognition", *Leonardo* 36, 4, 2003, p. 317-319.
- GOMEZ, Patrick, DANUSER, Brigitta, "Attention please ! How breathing facilitates attentive processing of visual and auditory stimuli", *Psychophysiology*, 41, 2004.
- GROUPE μ , "Du sensible à l'intelligible dans l'image : essai de lecture plastique d'une peinture non figurative", *Analyse musicale*, 4, Juin 1986, p. 19-22.

- HEDDEN, Steven K., "Music listening responses of groups differing in listening achievement", *Psychomusicology*, 1(2), 1981, p. 52-58.
- IACOBONI, Marco *et al.*, "Cortical Mechanisms of Human Imitation", *Science*, Vol. 286, N°5449, 1999, p. 2526-2528.
- JANATA, Petr, GRAFTON, Scott T., "Swinging in the brain : shared neural substrats for behaviors related to sequencing and music", *Nature Neuroscience*, 6(7), 2003, p. 682-687.
- JUSLIN, Patrik N. *et al.*, "Toward a computational model of expression in performance : the GERM model", *Musicae Scientiae*, (5), 2002, p. 63-122.
- KOFFKA, Kurt, "Experimental-Untersuchungen zur Lehre vom Rhythmus", *Zeitschrift für Psychologie*, 52, 1909, p. 1-109.
- KOHLER, Evelyne *et al.*, "Hearing sounds, understanding actions : Actions representation in mirror neurons", *Science*, 297, 2002, p. 846-848.
- KRUMHANSL, Carol L. and SCHENCK, Diana L., "Can dance reflect the structural and expressive qualities of music ? A perceptual experiment on Balanchine's choreography of Mozart's Divertimento No. 15", *Musicae Scientiae*, (1), 1997, p. 63-85.
- MADISON, Guy S., "Experiencing Groove Induced by Music : Consistency and Phenomenology", *Music Perception*, 24, 2006, p. 201-208.
- MacDOUGALL, Robert, "The Structure of Simple Rhythm Forms", *Psychology Review*, 4, 1903, p. 309-416.
- MATEL, Matthew S. and MECK, Warren H., "Neuropsychological mechanisms of interval timing behavior", *BioEssays*, 22(1), 2000, p. 94-103.
- MEEÛS, Nicolas, « Apologie de la partition », *Analyse musicale*, 24, 3^{ème} trim. 1991, p. 19-22.
- MERKER, Björn, H., "Synchronous Chorusing and the Origins of Music", *Musicae Scientiae*, 1999/2000, p. 53-74.
- MERKER, Björn H., MADISON, Guy S., ECKERDAL, Patricia, "On the role and origin of isochrony in human rhythmic entrainment", *Cortex*, 45, 2009, p. 4-17.
- MESNAGE, Marcel, « Sur la modélisation des partitions musicales », *Analyse musicale*, 22, 1^{er} trim. 1991, p. 31-44.
- MESNAGE, Marcel, « Notations et analyse musicale », *Analyse musicale*, 24, 3^{ème} trim. 1991, p. 42-46.
- MEUMANN, Ernst, "Untersuchungen zur Psychologie und Aesthetik des Rhythmus", *Philosophische Studien*, 10, 1894, p. 249-322.

- MOLINARI M. *et al.*, “Motor entrainment to auditory rhythm is not affected by cerebellar pathology”, *Proceedings for the Society of Neuroscience*, 950, 2001, p. 2.
- MOLINO, Jean, « La musique et le geste : prolégomènes à une anthropologie de la musique », *Analyse musicale*, 10, 1^{er} trim. 1988, p. 8-15.
- NICOLAS, François, « Huit thèses sur l’écriture musicale », *Analyse musicale*, 24, 3^{ème} trim. 1991, p. 47-51.
- OLÉRON, Geneviève, « Influence de la répétition sur la structuration temporelle des mouvements d’accompagnement de la musique », *L’Année psychologique*, 56, 1956, p. 13-26.
- OLÉRON, Geneviève, « Les mouvements rythmés induits par la musique », *L’Année psychologique*, 57, 1957, p. 33-50.
- PALMER, Caroline, “Music performance”, *Annual Reviews of Psychology*, 48, 1997, p. 115-138.
- PARRET, Herman, « A propos d’une inversion : l’espace musical et le temps pictural », *Analyse musicale*, 4, 3^{ème} trim. 1986, p. 25-31.
- PATEL, Aniruddh D., “Musical Rhythm, Linguistic Rhythm, and Human Evolution”, *Music Perception*, 24, 2006, p. 99-104.
- PATEL, Aniruddh D. *et al.*, “The influence of metricality and modality on synchronization with a beat”, *Experimental Brain Research*, 163(2), 2005, p. 226-238.
- PATEL, Aniruddh D. *et al.*, “Investigating the human-specificity of synchronization to music”, *Proceedings of the 10th International Conference On Music Perception and Cognition*, ed. M. Adachi *et al.*, Sapporo, August 2008, p. 1-5.
- PATEL, Aniruddh D. *et al.*, “Avian and human movement to music. Two further parallels”, *Communicative & Integrative Biology*, 2(6), 2009, p. 1-4.
- PENHUNE, Virginia B. *et al.*, “Cerebellar contributions to motor timing : a PET study of auditory and visual rhythm reproduction”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 1998, p. 752-765.
- PETERS Michael, “Why the preferred hand taps more quickly than the non-preferred hand : three experiments on handedness”, *Canadian Journal of Psychology*, 34, 1980, p. 62-71.
- PHILLIPS-SILVER, Jessica and TRAINOR, Laurel J., “Hearing what the body feels : Auditory encoding of rhythmic movement”, *ScienceDirect Cognition*, 105, 2007, p. 533-546.
- PHILLIPS-SILVER, Jessica and TRAINOR, Laurel J., “Vestibular influence on auditory metrical interpretation”, *Brain and Cognition*, 67, 2008, p. 94-102.

- PLATEL, Hervé *et al.*, “The structural components of music perception. A functional anatomical study”, *Brain A Journal of Neurology*, 120, 1997, p. 299-343.
- POVEL, Dirk-Jan and COLLARD, René, “Structural factors in patterned finger tapping”, *Acta Psychologica*, 52, 1982, p. 107-123.
- RUCKMICH, Christian A., “The rhythmical experience from the systematic point of view”, *American Journal of Psychology*, 39, 1927, p. 355-366.
- REPP, Bruno H., “Music as Motion : A Synopsis of Alexander Truslit’s (1938) « Gestaltung und Bewegung in der Musik »”, *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, SR-111/112, 1992, p. 265-278.
- REPP, Bruno H., “Musical Motion : Some Historical and Contemporary Perspectives”, *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research*, SR-114, 1993, p. 167-178.
- REPP, Bruno H., “Sensorimotor synchronization : a review of the tapping literature”, *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 2005, p. 969-992.
- REPP, Bruno H., “Rate Limits of Sensorimotor synchronization”, *Advances in Cognitive Psychology*, 2, 2006, p. 163-181.
- REPP, Bruno H., “Embodied Rhythm : Commentary on « the Contribution of Anthropometric Factors to Individual Differences in the Perception of Rhythm » by Neil P. McAngus Todd, Rosanna Cousins, and Christopher S. Lee”, *Empirical Musicology Review*, 2(1), 2007, p. 14-16.
- REPP, Bruno H. and PENEL, Amandine, “Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms”, *Psychological Research*, 68(4), 2003, p. 252-270.
- REYBROUCK, Mark, “Body, Mind and Music, Musical semantics between experiential cognition and cognitive economy”, *Trans*, 9, 2005.
- RICKARD, Nikki S., “Intense emotional responses to music : a taste of the physiological arousal hypothesis”, *Psychology of Music*, 32(4), 2004, p. 371-388.
- RIZZOLATTI, Giacomo *et al.*, “Premotor cortex and the recognition of motor actions”, *Cognition Brain Research*, (3), 1996, p. 131-141.
- RIZZOLATTI, Giacomo, FOGASSI, Leonardo, GALLESE, Vittorio, “Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action”, *National Review of Neurosciences*, (2), 2001, p. 661-670.
- SCHLAUG Gottfried, “ The brain of musicians a model for functional and structural adaptation”, *Annals of the New York Academy of Science*, 930, 2001, p. 281-299.
- SCHMIDT, Richard A., “A schema theory of discrete motor skill learning”, *Psychological Review*, 82, 1975, p. 225-260.

- SEEGER, Charles, « Notation prescriptive et notation descriptive », *Analyse musicale*, 24, 3^{ème} trim. 1991, p. 6-18.
- SIKORA, Elzbieta, « Son et image : liaison dangereuse. », *Marsyas*, (17), Mars 1991, p. 22-31.
- STREHLE, Hermann, “Analyse des Gebarens, Körperbewegung und –haltung”, *Ber. Kongr. disch. Ges. Psychol.*, Leipzig, 13, 1934, p. 175-177.
- SUNDBERG, Johan, FRIBERG, Anders and FRYDEN, Lars, “Threshold and Preference Quantities of Rules for Music Performance”, *Music perception : An Interdisciplinary Journal*, 9(1), 1991, p. 71-91.
- SUNDBERG, Johan and VERRILLO, Ronald T., “On the anatomy of the ritard : a study of timing in music”, *Journal of Acoustical Society of America*, 68, 1980, p. 772-779.
- THORET, Etienne, ARAMAKI Mitsuko, KRONLAND-MARTINET, Richard, VELAY, Jean-Luc, YSTAD, Solvi, “From Sound to Shape : Auditory Perception of Drawing Movements”, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, American Psychological Association, 2014, 40(3), p. 983-994.
- TIMSIT-BERTHIER, Martine, « Approche « biosémiotique » des unités sémiotiques temporelles », *Mathématiques et sciences humaines*, 45^e année, 178(2), 2007, p. 57-62.
- TODD, Neil, P. McAngus, “The dynamics of dynamics A model of musical expression”, *Journal of the Acoustical Society of America*, 91(6), 1992, p. 3540-3550.
- TODD, Neil, P. McAngus, “The Kinematics of Musical Expression”, *Journal of the Acoustical Society of America*, 97(3), 1995, p. 1940-1950.
- TODD, Neil, P. McAngus, “Motion in Music : A Neurobiological Perspective”, *Music perception*, 17(1), 1999, p. 115-126.
- TODD, Neil, P. McAngus, COUSINS, Rosanna and LEE Christopher S., “The contribution of anthropometric factors to individual differences in the perception of rhythm”, *Empirical Musicology Review*, 2(1), 2007, p. 1-13.
- TODD, Neil, P. McAngus and LEE, Christopher S., “Reply to « Embodied Rhythm » by Bruno Repp and « Do Preferred Beat Rate and Entrainment to the Beat Have a Common Origin in Movement ? » by Laurel Trainor”, *Empirical Musicology Review*, 2(3), 2007, p. 110-112.
- TODD, Neil, P. McAngus and MERKER, Björn H., “Siamang gibbons exceed the saccular threshold: intensity of the song of *Hylobates syndactylus*”, *Journal of the Acoustical Society of America*, 115(6), Juin 2004, p. 3077-3080.
- TODD, Neil, P. McAngus, O’BOYLE, David J. and LEE Christopher S., “A sensory-motor theory of rhythm, time perception and beat induction”, *Journal of New Music Research*, 28(1), 1999, p. 5-28.

- TOIVIAINEN, Petri, LUCK, Geoff and THOMPSON, Marc R., “Embodied Meter : Hierarchical Eigenmodes in Music-Induced Movement”, *Music Perception*, 28, 2010, p. 59-70.
- TRAINOR, Laurel J. *et al.*, “The primal role of the vestibular system in determining musical rhythm”, *Cortex*, 45, 2009, p. 35-43.
- VAN NOORDEN, Leon, MOELANTS, Dirk, “Resonance in the perception of musical pulse”, *Journal of New Music Research*, 28(1), 1999, p. 43-66.
- VERNANT, Denis, « Philosophie du langage et phénomènes artistiques », *Analyse musicale*, 35, 2000, p. 13-20.
- VIVIANI, Paolo and SCHNEIDER, Roland, “A developmental study of the relationship between geometry and kinematics in drawing movements”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(1), 1991, p. 198-298.
- WEISSER, Stéphanie, « Transcrire pour vérifier : le rythme des chants de *bagana* d’Ethiopie », *Musurgia*, XIII (2), 2006, p. 51-61.
- YAMMINE, Habib, « L’évolution de la notation rythmique dans la musique arabe du IX^e à la fin du XX^e siècle », *Cahiers de musiques traditionnelles, Noter la musique*, Genève, Ateliers d’ethnomusicologie, (12), 1999, p. 95-121.

Actes de colloques et congrès

- GRAHN, Jessica A. and BRETT, Matthew, “Beat-based rhythm processing in the brain”, *Proceedings of the 8th International Conference On Music Perception and Cognition*, Evanston, 2004, p. 207-208.
- THOMPSON, Marc R. and LUCK, Geoff, “Exploring relationships between expressive and structural elements of music and pianists’ gestures”, *Conference on Interdisciplinary Musicology*, Thessaloniki, 2008, p. 1-10.

Travaux universitaires

- CARAMIAUX, Baptiste, *Etudes sur la relation geste-son en performance musicale*, thèse de doctorat, Acoustique, Traitement du signal et Informatique appliqués à la musique, Université Paris 6, dir. Carlos Agon, 2011, 266 p.
- GOYEAU, Jean-Baptiste, *Descripteurs et algorithmes de caractérisation de l’aspect rythmique du son et de la musique*, DEA Acoustique, Traitement du signal et informatique appliqués à la musique, IRCAM, dir. Xavier Rodet et Geoffroy Peeters, 2004, 44 p.
- MOUSSU, Guy, *Définition d’une méthodologie de détection de phénomènes dynamiques dans une chronique d’images et son application à quelques études*, Traitement du signal et de l’image, Thèse en sciences appliquées, Université de Nice Sophia-Antipolis, dir. Lucien Wald, 1988, 151 p.

Actes de colloques et Congrès

- CANNAM, Chris, LANDONE, Christian and SANDLER, Mark, “*Sonic Visualiser: An Open Source Application for Viewing, Analysing, and Annotating Music Audio Files*”, Proceedings of the ACM Multimedia 2010 International Conference, 2010, 2 p.
- GARCIA, Jérémie, TSANDILAS, Theophanis, AGON, Carlos and MACKAY Wendy E., “Exploring Musical Ideas on Paper and Computer”, *International Conference on Interfaces for Musical Expression*, 30 May-1 June 2011, Oslo, p. 361-366.
- GODØY, Rolf Inge, “Motor-mimetic images of musical sound”, *9th International Conference on Music Perception and Cognition*, M. Baroni, A. R. Addessi, R. Caterina, M. Costa, Bologna, 22-26 August 2006, p. 781.
- GODØY, Rolf Inge *et al.*, “Classifying Music-Related Actions”, *12th International Conference on Music perception and cognition*, Thessaloniki, July 23-28, 2012, p. 352-357.
- JENSENIUS, Alexander Refsum, “Motion-sound Interaction Using Sonification based on Motiongrams”, *The Fifth International Conference on Advances in Computer_Human Interactions*, ACHI 2012, p. 170-175.
- LANGNER, Jörg, KOPIEZ, Reinhard, STOFFEL, Christian, WILZ, Martin, “Realtime Analysis of Dynamic Shaping”, *The 6th International Conference on Music Perception and Cognition Interactions*, Keele, 2000, p. 1-8.
- REYBROUCK, Mark, “Notational strategies as representational tools for sense-making in music listening tasks : limitations and possibilities”, *9th International Conference on Music Perception and Cognition*, Bologna, August 2006, p. 1727-1731.
- TODD, Neil, P. McAngus, “Wavelet Analysis of Rhythm in Expressive Musical Performance”, *International Computer Music Conference*, Tokyo, 1993, p. 264-267.

Consultation Web

- ACKERMANN, Edith, “Noter pour penser : du graphique au numérique”, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2005, web.media.mit.edu/~edith/publications/.../2005-NoterPourPenser2005.Pdf, le 24/03/2012.
- BRIL, Blandine, GOASDOUÉ, Rémi, “Du mouvement sans sens ou du sens sans mouvement : rôle des finalités et des contextes dans l’étude de comportements moteurs”, *Intellectica*, Mars 2009, <http://ehess.modelisationsavoirs.fr>, le 22/09/2013.
- FRANÇOISE, Jules, CARAMIAUX, Baptiste, BÉVILACQUA, Frédéric, “A Hierarchical Approach for the Design of Gesture-to-Sound Mappings”, IRCAM, Paris, 8 p., 2012, ressources.ircam.fr/.../oai:ircam.fr:articles:Francoise, le 02/11/2013.
- GODØY, Rolf Inge, HAGA, Egil, JENSENIUS, Alexander Refsum, “Playing ‘Air

- Instruments': mimicry of soundproducing gestures by novices and experts'', 2006, www.duo.uio.no, le 01/12/2013.
- GODØY, Rolf Inge, HAGA, Egil, JENSENIUS, Alexander Refsum, "Exploring Music-Related Gestures by Sound-Tracing. A Preliminary Study", 2006, www.duo.uio.no, le 01/12/2013.
- HAGA, Egil, *Correspondences between Music and Body Movement*, Ph.D. Thesis, Department of Musicology, University of Oslo, dir. Rolf Inge Godøy, 2008, 275 p., www.duo.uio.no, le 01/12/2013.
- HURON'S Review of A.Gabrielsson's « Action and Perception in Rhythm and Music », <http://musicog.ohio-state.edu/Huron/Publications>, le 17/08/2011.
- IYER, Vijay S., *Microstructures of Feel, Macrostructures of Sound : Embodied Cognition in West African and African-American Musics*, Ph.D thesis, Department of Technology and Arts, Université de Californie, Berkeley, 1998, <http://www.cnmat.berkeley.edu/~vijay/>, le 17/10/2011.
- JENSENIUS, Alexander Refsum, *Action-Sound, Developing Methods and Tools to Study Music-Related Body Movement*, Ph.D. thesis, Department of Musicology, University of Oslo, dir. Rolf Inge Godøy et Marcelo M. Wanderley, 275 p., 2007, www.duo.uio.no/publ/IMV/2007, le 17/11/2012.
- JOUSSE, Marcel, « Le style oral rythmique et mnémotechnique chez les Verbo-moteurs. L'explosion énergétique et la psychophysiologie du geste », *Revue Archives de philosophie*, Volume II, Cahier IV, 1925, 216 p., www.classiques.uqac, le 09/03/2008.
- LARNOUR, Henri, « Rythmes et infrarythmes en motricité humaine », <http://vision.univ-littoral.fr/revue-staps/pdf/38.pdf>, le 20/10/2010.
- LONDON, Justin, "Hearing rhythmic gestures : Moving bodies and embodied minds", www.people.carleton.edu/~jlondon, le 21/09/2011.
- MIM, « UST et graphisme- Julie Rousset », www.labo-mim.org/, le 10/08/2013.
- MIURA, Motoki *et al.*, "Estimating the Care with which Notes are Written from Online Handwritten Character Data", Kyushu Institute of Technology, Japan, 9 p., ist.mns.kyutech.ac.jp/miura/papers/kesiims2013miura.pdf, le 12/02/2014.
- NYMOEN, Kristian, TORRESEN, Jim, GODØY, Rolf Inge and JENSENIUS, Alexander Refsum, "A Statistical Approach to Analyzing Sound Tracings", www.duo.uio.no/bitsteam, le 05/05/2013.
- NYMOEN, Kristian, *Methods and Technologies for Analysing Links Between Musical Sound and Body Motion*, Ph.D. thesis, dir. Jim Torresen, 186 p., www.duo.uio.no/handle/10852/34354, le 01/11/2013.
- VAN NOORDEN, Leon, « Le mouvement à l'origine du musical, Pourquoi la musique nous fait bouger », 2007, www.rythme.be, le 03/08/2013.

4 Développement de l'enfant, général, musical et grapho-moteur

4.1 Développement général

BARTH, Brith-Mary, *L'apprentissage de l'abstraction*, Paris, Retz, 1987, 255 p.

BIDEAUD, Jacqueline et HOUDÉ, Olivier, *Cognition et développement. Boîte à outils théoriques*, Bern, Peter Lang, 1991, 153 p.

BIDEAUD, Jacqueline, HOUDÉ, Olivier et PEDINIELLI, Jean-Louis, *L'homme en développement*, Paris, PUF, 1993/2008, 522 p.

BRUNER, Jerome S. S., *Le développement de l'enfant savoir faire savoir dire*, Paris, PUF, 1983, 313 p.

BRUNER, Jerome S. S., *Culture et modes de pensée : l'esprit humain dans ses œuvres*, Paris, Retz, 1986/2000, 220 p.

DELDIME, Roger et VERMEULEN, Sonia, *Le développement psychologique de l'enfant*, Paris, Belin, 1988, 184 p.

DELEAU, Michel, *Les origines sociales du développement mental*, Paris, Armand Colin, 1990, 191 p.

FRANCÈS, Robert, *Le développement perceptif*, Paris, PUF, 1961/1985, 366 p.

GALIFRET-GRANJON, Nadine, *Naissance et évolution de la représentation chez l'enfant*, Paris, PUF, 1981, 315 p.

GESELL, Arnold et ILG, Frances L., *L'enfant de 5 à 10 ans*, Paris, PUF, 1949, 492 p.

GOLSE, Bernard, *Le développement affectif et intellectuel de l'enfant*, Paris, Masson, 1985, 297 p.

GOLSE, Bernard et BURSZTEJN, Claude (dir.), *Penser-parler-représenter Emergences chez l'enfant*, Paris, Masson, 1990, 216 p.

HOUDÉ, Olivier, *Catégorisation et développement cognitif*, Paris, PUF, 1992, 204 p.

HOUDÉ, Olivier, *La psychologie de l'enfant*, Paris, PUF, 2004, 127 p.

KARMILOFF-SMITH, Annette, *Beyond Modularity. A developmental perspective on Cognitive Science*, Cambridge, MIT, 1992, 234 p.

- MIALARET, Gaston, *Psychologie de l'éducation*, Paris, PUF, 1/1999, 2/2006, 127 p.
- O'CONNOR, Neil and HERMELIN, Beate, *Seeing and Hearing and Space and Time*, London, Academic Press, 1978, 156 p.
- PIAGET, Jean, *La construction du réel chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1937, 342 p.
- PIAGET, Jean, *La formation du symbole chez l'enfant : imitation, jeu et rêve, image et représentation*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1945, 310 p.
- PIAGET, Jean, *Six études de psychologie*, Paris, Denoël, 1964, 215 p.
- PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel, *La psychologie de l'enfant*, Paris, PUF, 1966, 151 p.
- PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel, *L'image mentale chez l'enfant : étude sur le développement de la représentation imagée*, Paris, PUF, 1966, 461 p.
- POSTIC, Marcel et DE KÉTÉLÉ, Jean-Marie, *Observer les situations éducatives*, Paris, PUF, 1988, 311 p.
- STERN, Daniel N., *Mère et enfant - Les premières relations*, Pierre Mardaga, 1977, 196 p.
- STERN, Daniel N., *Le monde interpersonnel du nourrisson Une perspective psychanalytique et développementale*, Paris, PUF, 1989, 381 p.
- THELEN, Esther and SMITH, Linda B., *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*, Cambridge, MIT Press, 1994, 376 p.
- TIJUS, Charles, *Introduction à la psychologie cognitive*, Paris, Nathan, 2001, 215 p.
- TOURRETTE, Catherine et GUIDETTI, Michèle, *Introduction à la psychologie du développement. Du bébé à l'adolescent*, Paris, Armand Colin, 1994, 190 p.
- VYGOTSKY, Lev Semenovitch, *Mind in society, The Development of Higher Psychological Processes*, Harvard University Press, Cambridge, 1978, 159 p.
- VYGOTSKY, Lev Semenovitch, *Conscience, inconscient, émotions*, Paris, La dispute, 2003, 165 p.
- WALLON, Henri, *Psychologie et dialectique. La spirale et le miroir. Textes de 1926 à 1961*, Paris, Messidor, 1990, 241 p.
- WALLON, Henri, *Les origines du caractère chez l'enfant*, Paris, Quadrige/PUF, 1934/1989, 301 p.
- WALLON, Henri, *L'évolution psychologique de l'enfant*, Paris, Armand Colin, 1941/2002, 187 p.

WALLON, Henri, *De l'acte à la pensée. Essai de psychologie comparée*, Paris, Flammarion, 1942/1970, 239 p.

WALLON, Henri, *Les origines de la pensée chez l'enfant*, Paris, Quadrige/PUF, 1945/1989, 762 p.

WEIL-BARAIS, Annick (dir.), *L'homme cognitif*, Paris, PUF, 1993/2005, 600 p.

Contributions dans un ouvrage collectif

BRUNER, Jerome S., "On Cognitive Growth", *Studies in Cognitive Growth*, ed. Jerome S. Bruner, Rose R. Olver and Patricia M. Greenfield, New York, Wiley, 1966, p. 1-67.

NADEL, Jacqueline et POTIER, Caroline, « Imiter et être imité : leur rôle dans le développement de l'intentionnalité », *Imiter et connaître l'humain : Neurobiologie, philosophie, psychologie, robotique*, éd. Jacqueline Nadel et Jean Decety, Paris, PUF, 2002, p. 83-94.

VYGOTSKY, Lev Semenovitch, « Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire », *Vygotsky aujourd'hui*, éd. Bernard Schneuwly et Jean-Paul Bronckart, Paris, Delachaux et Niestlé, 1985, p. 93-117.

Articles

GARDNER, Howard, TORFF, Bruce et HATCH, Thomas, « L'âge de l'innocence reconsidéré : Préserver le meilleur de la tradition progressiste en psychologie et en pédagogie », *Revue Française de Pédagogie*, (111), Avril-mai-juin 1995, p. 35-56.

INHELDER, Bärbel *et al.*, « Les débuts de la fonction symbolique », *Archives de psychologie*, 41(163), 1972, p. 187-243.

SMITH, Linda B. and THELEN, Esther, "Development as a dynamic system", *TRENDS in Cognitive Science*, 7(8), August 2003, p. 343-348.

WILSON, Margaret, "Six views of embodied cognition", *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 2002, p. 625-636.

Revue

Bulletin officiel, Hors série n° 3 du 19 juin 2008, « Programme de l'école maternelle. Petite Section, Moyenne Section, Grande Section ».

WALLON, Henri, « Psychologie et éducation de l'Enfance. Buts et méthodes de la psychologie », *Enfance*, (3-4), 1959-1963, Paris, CNRS, 1985, 433 p.

Actes de colloques et Congrès

L'enfant et les représentations symboliques : recherches-actions en didactiques, Colloque interdisciplinaire, 16-17 déc. 1988, Université de Provence, Service commun universitaire de formation des formateurs, Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, 1990, 116 p.

Consultation Web

COWART, Monica, "Embodied Cognition", *Internet Encyclopedia of Philosophy*, 2004, www.iep.utm.edu/embodcog/, le 11/03/2011.

Livescribe, http://www.livescribe.com/fr/media/pdf/support/SmartpenUserManual_FR.pdf.

DVD

GIBRAT, Jean-Pierre, *Dans le secret des émotions*, Stanislas Dehaene et Jean-Pierre Gibrat, 2007.

4.2 Développement musical

BACHMANN, Marie-Laure, *La rythmique JAQUES-DALCROZE, une éducation par la musique et pour la musique*, Neuchâtel, A la baconnière, 1984, 458 p.

BAMBERGER, Jeanne, *The Mind behind the Musical Ear: How Children Develop Musical Intelligence*, London, Harvard University Press, 1991, 290 p.

BARBE, Walter and SWASSING, Raymond, *Teaching through modality strengths :concept and practice*, Colombus, Zaner Bloser, 1979, 117 p.

BRAILOIU, Constantin, *La rythmique enfantine : notes liminaires*, Bruxelles, Elsevier, 1956, 37 p.

CELESTE, Bernadette, DELALANDE, François et DUMAURIER, Elisabeth, *L'enfant du sonore au musical*, Paris, Buchet/Chastel, 1982/1997, 179 p.

CHRISTIANSON, Helen M., *Bodily Rhythmics Movements of Young Children in relation to Rhythm in Music*, Columbia University Teachers College, New York, 1938, 196 p.

DELIÈGE, Irène et SLOBODA, John A. (dir.), *Naissance et développement du sens musical*, Paris, PUF, 1995, 307 p.

DOWLING, W. Jay and HARWOOD, Dane L., *Music Cognition*, San Diego, Academic Press, 1986, 258 p.

- DUMAURIER, Elisabeth, *La perception dans le domaine sonore*, Issy-les-Moulineaux, EAP, 1990, 212 p.
- GEMBRIS, Heiner, *Musical Development from a Lifespan Perspective*, Frankfurt am Main, Peter Lang, 2006, 194 p.
- GORDON, Edwin E., *Learning Sequences in Music*, Chicago, GIA, 1980/2007, 446 p.
- HARGREAVES, David J., *The Developmental Psychology of Music*, Cambridge, Cambridge University Press, 1986, 260 p.
- HIRIARTBORDE, Edmond, *Les aptitudes rythmiques Etude de psychologie différentielle*, Paris, Dactylo-Sorbonne, 1964, 225 p.
- HIRIARTBORDE, Edmond et FRAISSE, Paul, *Les aptitudes rythmiques*, Paris, CNRS, 1968, 109 p.
- LACAZE, Marie-Françoise, *Le geste créateur en éducation musicale*, Issy-les-Moulineaux, 1984, 175 p.
- MALRIEU, Philippe, *Les origines de la conscience du temps*, Paris, PUF, 1953, 158 p.
- MIALARET, Jean-Pierre, *Explorations musicales instrumentales chez le jeune enfant*, Paris, PUF, 1997, 231 p.
- MIROUDOT, Laurent *Structuration mélodique et tonalité chez l'enfant de 4-5 ans*, Paris, L'Harmattan, 2000, 236 p.
- MOOG, Helmut, *The musical experience of the preschool child*, London, Schott, 1968/1976.
- PIAGET, Jean, *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*, Paris, PUF, 1946, 298 p.
- SERAFINE, Mary Louise, *Music as cognition : The development of Thought in Sound*, New York, Columbia University Press, 1988, 247 p.
- SHUTER-DYSON, Rosamund, *The Psychology of Musical Ability*, London, Methuen, 1968, 347 p.
- SINCLAIR, Hermine (dir.), *Les productions de notations chez le jeune enfant, Langage, nombre, rythmes et mélodies*, Paris, PUF, 1988, 183 p.
- SLOBODA, John A., *L'esprit musicien. La psychologie cognitive de la musique*, Bruxelles, Mardaga, 1988, 396 p.
- SLOBODA, John A., *Exploring the musical mind: cognition, emotion, ability, function*, Oxford University Press, 2005, 437 p.
- SOULAS, Brigitte, *Art, musique, école. Discernement et esthétique*, Paris, L'Harmattan, 2002, 188 p.

- STAMBAK, Mira, *Trois épreuves de rythme*, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1960, 14 p.
- TARTAS, Valérie, *La construction du temps social par l'enfant*, Berne, Peter Lang, 2009, 252 p.
- TEPLOV, Boris Mikhailovich, *Psychologie des aptitudes musicales*, Paris, PUF, 1952/ trad.1966, 418 p.
- TIGHE, Thomas J. and DOWLING, W. Jay (eds.), *Psychology and music: the understanding of melody and rhythm*, Hillsdale, L. Erlbaum Associated, 1993, 228 p.
- WILLEMS, Edgar, *La préparation musicale des Tout-Petits*, Lausanne, Maurice et Pierre Foetisch, 1950, 110 p.
- WIRTHNER, Martine et ZULAUF, Madeleine (dir.), *A la recherche du développement musical*, Paris, L'Harmattan, 2002, 352 p.
- ZENATTI, Arlette, *Le développement génétique de la perception musicale*, Monographies Françaises de Psychologie n°17, Paris, Centre national de la recherche scientifique, 1969, 111 p.
- ZENATTI, Arlette, *L'enfant et son environnement musical*, Issy-les-Moulineaux, Editions Scientifiques et Psychologiques, 1981, 275 p.
- ZENATTI, Arlette (dir.), *Psychologie de la musique*, Paris, PUF, 1994, 391 p.

Contributions dans un ouvrage collectif

- BAMBERGER, Jeanne, "Coming to Hear in a New Way", *Musical Perceptions*, ed. Rita Aiello and John A. Sloboda, Oxford University Press, New York, 1994, p. 131-151.
- BARRETT, Margaret S., "Representation, cognition, and communication : Invented notation in the children's musical communication", *Musical communication*, ed. Dorothy Miell, Raymond Macdonald and David J. Hargreaves, Oxford University Press, 2005, p. 117-142.
- BLACKING, John, "Music in Children's Cognitive and Affective Development : Problems posed by ethnomusicological research", *Music and Child Development*, ed. Franck R. Wilson and Franz L. Rochmann, USA, The biology of Making, Inc, 1990, p. 68-78.
- CAMP, Max W., "Rhythmic Control and Musical Understanding", *Music and Child Development*, ed. Franck R. Wilson and Franz L. Rochmann, USA, The Biology of Making, Inc, 1990, p. 191-200.
- DAUPHIN, Claude, « Les grandes méthodes pédagogiques du XX^e siècle », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 2, Les savoirs musicaux*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 833-853.

- DAVIDSON, Lyle, "Songsinging by young and old : A developmental approach to music", *Musical perceptions*, ed. Rita Aiello and John A. Sloboda, Oxford University Press, 1994, p. 99-130.
- DAVIDSON, Lyle and COLLEY, Bernadette, "Children's Rhythmic Development from Age 5 to 7: Performance, Notation, and Reading of Rhythmic Patterns", *Music and Child Development*, ed. J. Craig Peery, Irène Weiss Peery and Thomas W. Draper, New York, Springer-Verlag, 1987, p. 105-136.
- DAVIDSON, Lyle and SCRIPP, Larry, "Young children's musical representations: Windows on music cognition", *Generative Processes in Music: the Psychology of Performance, Improvisation, and Composition*, ed. John A. Sloboda, Oxford, Clarendon Press, 1988, p. 195-230.
- DERIU, Rosalba, « Pédagogie de l'éducation musicale dans la seconde moitié du XX^e siècle », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle : vol. 2, Les savoirs musicaux*, éd. Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 854-872.
- DOWLING, W. Jay, "Development of musical schemata in children's spontaneous singing", *Cognitive Processes in the Perception of Art*, ed. W. R. Crozier and A. J. Chapman, Elsevier Science, 1984, p. 145-164.
- DRAKE, Carolyn et ROCHEZ, Carine, « Développement et apprentissage des activités et perceptions musicales », *Les sciences cognitives et l'école*, éd. Michel Fayol et Michèle Kail, Paris, PUF, 2003, p. 443-479.
- HATWELL, Yvette, "Transferts intermodaux et intégration intermodale", *Traité de Psychologie Expérimentale, Tome 1*, éd. M. Richelle, J. Requin et M. Roberts, Paris, PUF, p. 543-584.
- HULSEBUS, R. C., "Operant conditioning of infant behavior : a review", *Advances in Child Development and Behavior*, ed. Hayne W. Reese, New York Academic Press, 7, 1973, p. 112-157.
- LAMONT, Alexandra, "Music in the school years", *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross and Michael Thaut, Oxford University Press, 2009, p. 235-242.
- MIALARET, Jean-Pierre, « Vers une didactique de l'écoute musicale à l'école. Jalons introductifs », *De l'écoute à l'œuvre*, éd. Michel Imberty, Paris, L'Harmattan, 2001, p. 99-112.
- MILLER, C. L. and BYRNE, J. M., "The role of temporal cues in the development of communication", *The origins and growth of communication*, ed. L. Feagans, C. Garvey and R. Golinkoff, Norwood, Ablex, 1984, p. 77-101.
- MONTANGERO, Jacques, « La genèse des raisonnements et des concepts temporels », *Du temps biologique au temps psychologique*, éd. Paul Fraisse et al., Paris, PUF, 1979, p. 175-187.

- SHEHAN, Patricia K., "Movement in the Music Education of Children", *Music and Child Development*, ed. Franck R. Wilson and Franz L. Rochmann, USA, The biology of Making, Inc, 1990, p. 354-364.
- SHUTER-DYSON, Rosamund, "Musical Ability", *The Psychology of Music*, ed. Diana Deutsch, London, Academic Press, 1982, p. 391-412.
- STERN, Daniel N., « Aspects temporels de l'expérience quotidienne d'un nouveau-né : quelques réflexions concernant la musique », *Le temps et la forme. Pour une épistémologie de la connaissance musicale*, éd. Etienne Darbellay, Genève, Droz, 1998, p. 167-190.
- STERN, Daniel N. and GIBBON, John, "Temporal expectancies of social behavior in mother-infant play", *Origins of the infant's social responsiveness*, ed. E. B. Thoman, Erlbaum, Hillsdale, 1978, p. 409-429.
- SULITEANU, Ghizela, "The Role of Songs for Children in the Formation of Musical Perception", *The Performing Arts : Music and Dance*, ed. John Blacking and Joann Kealiinohomoku, Mouton-Publishers, New York, 1979.
- TAFURI, Johannella, « Dons musicaux et problèmes pédagogiques », *Musiques : une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, éd. Jean-Jacques Nattiez, vol. 2, Arles, Actes Sud/Cité de la Musique, 2004, p. 561-584.
- THON, Bernard et CADOPI, Marielle, « Penser le mouvement », *Approches cognitives de la création artistique*, éd. Mario Borillo, Sprimont, Mardaga, 2005, p. 79-95.
- TREVARTHEN, Colwyn, "Descriptive analyses of infant communication behavior", *Studies of Mother-Infant Interaction*, ed. H.R. Schaffer, The Loch Lomond Symposium, London, Academic Press, 1975, p. 227-270.
- TREVARTHEN, Colwyn, « L'art musical et conversationnel du bébé : narrations dans le temps du vécu partagé, sans interprétation rationnelle, avant les mots », *Musique et évolution*, éd. Irène Deliège, Olivier Vitouch et Olivia Ladinig, Wavre, Mardaga, 2010, p. 101-122.
- UMEMOTO, Takao, "Developmental approaches to music cognition and behavior", *Perception and Cognition of Music*, ed. Irène Deliège and John A. Sloboda, Hove, Psychology Press, 1997, p. 129-142.
- UPITIS, Rena, "Toward a Model for Rhythm Development", *Music and Child Development*, ed. J. Craig Peery, Irène Weiss Peery and Thomas W. Draper, New York, Springer-Verlag, 1987, p. 54-79.
- WINNER, Ellen, "Development in the Arts : Drawing and Music", *Handbook of Child Psychology, Cognition Perception and Language*, ed. William Damon, Richard M. Lerner, Deanna Kuhn, Robert S. Siegler, New York, John Wiley & Sons, 2006, p. 859-905.

Articles

- BAHRICK, Lorraine E. and LICKLITER, Robert, “Infants’ perception of rhythm and tempo in unimodal and multimodal stimulation : a developmental test of the intersensory redundancy hypothesis”, *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 4(2), 2004, p. 137-147.
- BARRETT, Margaret S., “Investing songs, inventing worlds : the ‘genesis’ of creative thought and activity in young children’s lives”, *International Journal of Early Education*, 14(3), October 2006, p. 201-220.
- BARUCH, Clarysse and DRAKE, Carolyn, “Tempo discrimination in infants”, *Infant Behavior and Development*, 20, 1997, p. 573-577.
- BERGESON, Tonya R. and TREHUB, Sandra E., “Infants’ Perception of Rhythmic Patterns”, *Music Perception*, 23, 2005, p. 345-360.
- BOBIN-BÈGUE, Anne and PROVASI, Joëlle, “Tempo Discrimination in 3- and 4-year-old children : performances and threshold”, *Current psychology letters*, 2(16), 2005, p. 2-12.
- BOBIN-BÈGUE, Anne et PROVASI, Joëlle, « Régulation rythmique avant 4 ans : effet d’un tempo auditif sur le tempo moteur », *L’année psychologique*, Décembre 2008, p. 631-658.
- BURLE, Boris and CASINI, Laurence, “Dissociation between Activation and Attention Effects in Time Estimation : Implications for Internal Clock Models”, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 27(1), 2001, p. 195-205.
- CASTARÈDE, Marie-France, « L’éveil sonore et musical du jeune enfant. Perspectives clinique et cognitiviste », *Enfance*, (3), 1995, p. 357-371.
- CONDON, William S. and SANDER Louis W., “Synchrony Demonstrated between Movements of Neonate and Adult Speech”, *Child Development*, 45(2), 1974, p. 456-462.
- De CASPER, Anthony J., and FIFER, William P., “Of human bonding : Newborns prefer their mothers’ voice”, *Science*, 208, 1980, p. 1174-1176.
- DELALANDE, François, « L’éducation musicale de zéro à six ans », *Marsyas*, (5), Mars 1988, p. 81-85.
- DEMANY, Laurent, « L’appréhension perceptive des structures temporelles chez le nourrisson », *Du temps biologique au temps psychologique*, Symposium de l’APSLF (Poitiers), Presses Universitaires de France, Paris, 1979, p. 217-227.
- DEMANY, Laurent, “Auditory stream segregation in infancy”, *Infant behavior and development*, 5(2), 1982, p. 261-276.

- DEMANY, Laurent, MacKENZIE, Beryl and VURPILLOT, Eliane, "Rhythm perception in early infancy", *Nature*, 266, 1977, p. 718-719.
- DRAKE, Carolyn, "Psychological Processes Involved in the Temporal Organization of Complex Auditory Sequences: Universal and Acquired Processes", *Music Perception*, 16(1), 1998, p. 11-26.
- DRAKE, Carolyn and GÉRARD, Claire, "A psychological pulse train: how young children use this cognitive framework to structure simple rhythms", *Psychological Research*, 51(1), 1989, p. 16-22.
- DRAKE, Carolyn and PALMER, Caroline, "Accent structures in music performance", *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 10(3), 1993, p. 343-378.
- DRAKE, Carolyn *et al.*, "The development of rhythmic attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending", *Cognition*, 77, 2000, p. 251-288.
- ESSENS, Peter J. and POVEL, Dirk-Jan, "Metrical and nonmetrical representations of temporal patterns", *Perception and Psychophysics*, 37(1), 1985, p. 1-7.
- FRAISSE, Paul, "Etude sur la mémoire immédiate. I L'appréhension des sons", *L'année psychologique*, 38(1), 1937, p. 48-85.
- FRAISSE, Paul, PICHOT, Pierre et CLAIROUIN-OLÉRON, Geneviève, « Les aptitudes rythmiques. Etude comparée des oligophrènes et des enfants normaux », *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, (42), 1949, p. 309-330.
- FRAISSE, Paul et ZUILI, Nadine, « Etude génétique de la synchronisation sensori-motrice », *Enfance*, 19(1), 1966, p. 1-6.
- GARDNER, Howard, "Children's duplication of rhythmic patterns", *Journal of Research in Music Education*, 3, 1971, p. 355-360.
- GÉRARD, Claire, « L'enfant et le rythme: étude expérimentale de la discrimination et de la production de rythmes musicaux », *Vibration*, (6), 1988, p. 72-107.
- GÉRARD, Claire, « Perception du temps et du rythme. L'enfant dispose-t-il d'une horloge interne ? », *Marsyas*, (8), Décembre 1988, p. 75-84.
- GÉRARD, Claire, « Le temps distribué. Rythmes spontanés et rythmes musicaux chez l'enfant », *Marsyas*, (10), juin 1989, p. 87-93.
- GÉRARD, Claire, « L'apprentissage du rythme musical: sur quels indices peuvent s'appuyer les enfants ? », *Les sciences de l'Éducation*, (3-4), 1990, p. 63-84.
- GÉRARD, Claire et AUXIETTE, Catherine, "Programmation motrice et stratégies cognitives dans une tâche de synchronisation", *Journal de Physique 4 Colloque*, 2, 1992, p. 225-228.

- GILBERT, Janet P., "Motoric music skill development in young children : a longitudinal investigation", *Psychology of Music*, 9(1), 1981, p. 21-25.
- GRIESHABER, Kate, "Children's rhythmic tapping : a critical review of research", *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 90, 1987, p. 73-82.
- HAIR, Harriet I., "Divergent research in Children's musical development", *Psychomusicology*, 16, 1997, p. 26-39.
- HANNON, Erin E. and JOHNSON, Scott P., "Infants use meter to categorize rhythms and melodies : Implications for musical structure learning", *Cognitive Psychology*, 50, 2005, p. 354-377.
- JERSILD, Arthur T. and BIENSTOCK, Sylvia F., "Development of rhythm in young children", *Child Development Monograph*, 22, 1935, p. 1-97.
- KAMENETSKY, Stuart B., HILL, David S. and TREHUB, Sandra E., "Effect of Tempo and Dynamics on the Perception of Emotion in Music", *Psychology of Music*, 25, 1997, p. 149-160.
- KUHL, Patricia K. and MELTZOFF, Andrew N., "The bimodal perception of speech in infancy", *Science*, 218, 1982, p. 1138-1141.
- LAWSON, Katharine R., "Spatial and temporal congruity and auditory-visual integration in infants", *Developmental Psychology*, 16(3), 1980, p. 185-192.
- LAU, Margaret and GRIESHABER, Susan, "Musical free-play : A case for invented musical notation in a Hong Kong kindergarten", *British Journal of Music*, 27(2), 2010, p. 127-140.
- LEWKOWICZ, David J. and TURKEWITZ, Gerald, "Cross-Modal Equivalence in Early Infancy : Auditory-Visual Intensity Matching", *Developmental Psychology*, 1980, 6, p. 597-607.
- LYONS-RUTH, Karlen, "Bimodal perception in infancy : response to auditory-visual incongruity", *Child Development*, 48, 1977, p. 820-827.
- MacAULEY, J. Devin *et al.*, "The time of our lives : life span development of timing and event tracking", *Journal of Experimental Psychology*, 135, 2006, p. 348-367.
- MacKAIN, Kristine S. *et al.*, "Infant intermodal speech perception is a left-hemisphere function", *Science*, 219, 1983, p. 1347-1348.
- MENDELSON, Morton J., "Perception of the temporal pattern of motion in infancy", *Infant Behavior and Development*, 9, 1986, p. 231-243.
- MELEN, Marc, « Les principes du *même* et du *différent* comme organisateurs du groupement rythmique chez le nourrisson. Arguments théoriques », *Musicae Scientiae*, 3(1), 1999, p. 41-66.

- MIALARET, Jean-Pierre, « Du tâtonnement de Claire sur un métallophone », *Documents du CERSE*, Université de Caen, (54), Janvier 1992, 103 p.
- MIYAMOTO, Karen A., “Musical Characteristics of Preschool-Age Students : A Reaview of Literature”, *Applications of Research in Music Education*, 26, 2007, p. 26-40.
- MORRONGIELLO, Barbara A., “Auditory temporal pattern perception in 6- and 12-month infants”, *Developmental Psychology*, 20, 1984, p. 441-448.
- MORRONGIELLO, Barbara A. and TREHUB, Sandra E., “Age-Related Changes in Auditory Temporal Perception”, *Journal of Experimental Child Psychology*, 44, 1987, p. 413-426.
- PAANANEN, Pirkko A., « Melodic improvisation at the age of 6-11 years : Development of pitch and rhythm », *Musicae Scientiae*, 11(1), 2007, p. 89-120.
- PALMER, Caroline and KRUMHANSL, Carol L., “Mental representations for musical meter”, *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 16(4), 1990, p. 728-741.
- PHILLIPS-SILVER Jessica and TRAINOR, Laurel J., “Feeling the Beat : Movement Influences Infant Rhythm Perception”, *Science*, 308(3), June 2005, p. 1430.
- POVEL, Dirk-Jan and ESSENS, Peter J., “Perception of temporal patterns”, *Music Perception : An Interdisciplinary Journal*, 2(4), 1985, p. 411-440.
- RAINBOW, E.L., “A longitudinal investigation of the rhythmic ability of preschool age children”, *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 50, p. 55-61.
- RETRA, José, “Music is movement. Developmental aspects of Movement Representation of Musical Activities of Preschool Children in a Dutch Music Education Setting”, *European Conference on Developmental Psychology of Music*, Roehampton University, England, 2008, p. 219-223.
- SIMS, Wendy L., “Characteristics of young children’s music concept discrimination”, *Psychomusicology*, 9(1), 1990, p. 79-88.
- SPELKE, Elizabeth S., “Infants’ intemodal perception of events”, *Cognitive Psychology*, 8, 1976, p. 553-560.
- SPELKE, Elizabeth S., “Perceiving bimodally specified events in infancy”, *Developmental Psychology*, 15, 1979, p. 626-636.
- STEVENS, Catherine and GALLAGHER, Melinda, “The development of mental models for auditory events : Relational complexity and discrimination of pitch and duration”, *British Journal of Developmental Psychology*, 22, 2004, p. 569-583.
- STYNS, Frederik *et al.*, “Walking on music”, *Human movement science*, 26, 2007, p. 769-785.

- SWANWICK, Keith and TILLMAN, June, "The Sequence of Musical Development : A Study of Children's Composition", *British Journal of Music Education*, 3(3), 1986, p. 305-339.
- THORPE, Leigh A. *et al.*, "Perceptual grouping by infants and preschool children", *Developmental Psychology*, 24, 1988, p. 484-491.
- TREHUB, Sandra E., "Infants' Perception of Musical Patterns", *Perception & Psychophysics*, 41(6), 1987, p. 635-641.
- TREHUB, Sandra E., "Temporal Auditory Processing in Infancy", *Annals New York Academy of Sciences*, 682, 1993, p. 137-149.
- TREHUB, Sandra E., "Musical Predispositions in Infancy", *Annals New York Academy of Sciences*, 930, 2001, p. 1-16.
- TREHUB, Sandra E., "Toward a Developmental Psychology of Music", *Annals New York Academy of Sciences*, 999, 2003, p. 402-413.
- TREHUB, Sandra E., "The developmental origins of musicality", *Nature Neuroscience*, 6-7, July 2003, p. 669-673.
- TREHUB, Sandra E., "Part IV: Developmental and Applied Perspectives on Music", *Annals New York Academy of Sciences*, 1060, 2005, p. 198-201.
- TREHUB, Sandra E. and CHANG, Hsing-Wu, "Auditory processing of relational information by young infants", *Journal of Experimental Child Psychology*, Academic Press, 24 (2), 1977, p. 324-331.
- TREHUB, Sandra E. and HANNON, Erin E., "Conventional rhythms enhance infants' and adults' perception of musical patterns", *Cortex*, 45, 2009, p. 110-118.
- TREHUB, Sandra E. and THORPE, Leigh A., "Infants' Perception of Rhythm: Categorization of Auditory Sequences by Temporal Structure", *Canadian Journal of Psychology*, 43, 1989, p. 217-229.
- UPITIS, Rena, "Children's understanding of rhythm: the relationship between development and music training", *Psychomusicology*, 7, 1987, p. 41-60.
- UPITIS, Rena, "Children's invented notations of familiar and unfamiliar melodies", *Psychomusicology*, 9, 1990, p. 89-106.
- UPITIS, Rena, "Children's invented symbol systems: Exploring parallels between music and mathematics", *Psychomusicology*, 12, 1993, p. 52-57.
- VOLMAN, Chiel and GEUZE, Reint H., "Temporal stability of rhythmic tapping « on » and « off the beat » : A developmental study", *Psychological Research*, 63, 2000, p. 62-69.

WILSON Sarah J., WALES, Roger J. and PATTISON, Philippa, “The representation of tonality and meter in children aged 7 and 9”, *Journal of experimental child psychology*, 64(1), 1997, p. 42-66.

WOLF, Debbie Lynn, “A Hierarchy of Rhythm Performance Patterns for Kindergarten Children”, *Visions of Research in Music Education*, 4, January 2004, p. 15-26.

YAKOVLEV, Paul Ivan and LECOURE, André Roch, “The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain”, *Regional Development of the Brain in early life*, Blackwell Scientific, Oxford, 1967, p. 3-70.

ZENATTI, Arlette, « Jugement esthétique et perception de l'enfant, entre 4 et 10 ans, dans des épreuves rythmiques », *Année psychologique*, 76, 1976, p. 93-115.

Travaux universitaires

BAMBERGER, Jeanne, *The development of musical intelligence I: Strategies for representing simple rhythms*, Massachusetts Institute of Technology Artificial Intelligence Laboratory, November 1975, 68 p.

BRAND, Diane C., *Selected motor movements as an indicator of rhythmic capacity*, Master of Music Education, Texas Tech University, 1976, 41 p.

HARDING, Kelly Kristine, *An investigation of the rhythm aptitude and rhythm achievement of first, second, and third grade students*, Master of Music, University of Delaware, 2010, 128 p.

OMÉTAK, Valérie, *La représentation graphique du rythme chez l'enfant prélecteur de cinq ans*, Dossier de Master 1, Université de Paris 4, Musique et musicologie, dir. François Madurell, 2008, 139 p.

OMÉTAK, Valérie, *La représentation graphique du rythme par l'enfant prélecteur de cinq ans. Analyse descriptive et éléments de compréhension*, Mémoire de Master 2, Université de Paris 4, Musique et musicologie, dir. François Madurell, 2009, 226 p.

SEGALERBA, Maria Guadalupe, *La transcription du temps dans les représentations graphiques et verbales d'un extrait musical par des enfants de 9-10 ans*, Mémoire de DEA Histoire de la musique et musicologie, dir. Michel Imberty, Paris IV, 1998, 72 p.

SEGALERBA, Maria Guadalupe, *Métalangage et représentation graphique comme manifestations de la représentation mentale de la musique*, Thèse de doctorat, Université Paris 4, Musicologie, dir. Michel Imberty, 2005.

ZENATTI, Arlette, *Perception et Intelligence musicales chez l'enfant*, Thèse de 3^e cycle, Université Paris 10, Psychologie, dir. Robert Francès, 1967.

ZENATTI, Arlette, *Influence de l'acculturation sur le développement musical de l'enfant entre 4 et 10 ans*, Thèse de doctorat, Université Paris 4, Musicologie, dir. Jacques Chailley, 1978.

Actes de colloques et congrès

De BRUYN, Leen, LEMAN, Marc and MOELANTS, Dirk, “Quantifying Children’s Embodiment of Musical Rhythm in Individual and Group Settings”, *Proceedings on the 10th International Conference on Music Perception and Cognition*, Sapporo, August 2008, p. 662-667.

DEMAREST, Steven M., “The Integration of Pitch and Rhythm in Musical Judgment : a Paradigm for Research in Musical Development”, Actes de la 3^e Conférence Internationale pour la *Perception et cognition musicales*, éd. Irène Deliège, Université de Liège, Juillet 1994, p. 149-150.

EEROLA, Tuomas, LUCK, Geoff and TOIVIAINEN, Petri, « An investigation of pre-schoolers’ corporeal synchronization with music », *9th International Conference on Music Perception and Cognition*, Bologna, 2006, p. 472-476.

FERRARA, Elena et TAFURI, Johannella, “Kinetic patterns in children’s responses to music”, Actes de la 3^e Conférence Internationale pour la *Perception et cognition musicales*, éd. Irène Deliège, Université de Liège, Juillet 1994, p. 328-330.

MELEN, Marc, “Rythmique grouping as a function of a difference in pitch height in 7 month-old to 10 month-old infants”, Actes de la 3^e Conférence Internationale pour la *Perception et cognition musicales*, Université de Liège, éd. Irène Deliège, Juillet 1994, p. 147-148.

« Production et expressivité musicale chez l’enfant », Actes de la Journée d’étude du 3 décembre 1994, Paris-Sorbonne, OMF, 1995, 32 p.

PROVASI, Joëlle et BOBIN-BÈGUE, Anne, « Synchronisation motrice à un tempo auditif chez le nourrisson », Actes du congrès 2007 de la Société Française de Psychologie, ed. J.M. Hoc and Y. Corson, 2008, p. 105-112.

Consultations web

FLOHR, John W., *Musical Lives of Young Children: References*, 2004, p. 1-13, www.marvinmusic.org, le 11/06/2011.

4.3 Développement grapho-moteur

BAGGIO, Dessie, *L’expression picturale de l’enfant Nouvelle méthode de communication visuelle en situations*, Paris, Connaissance et savoir, 2008, 75 p.

BUCHER, Huguette, *Développement et examen psychomoteur de l’enfant*, Paris, Masson, 2004, 178 p.

BULLINGER, André, *Le développement sensori-moteur de l’enfant et ses avatars : un parcours de recherche*, Romainville Saint-Agne, Érès, 2004, 272 p.

- DARRAS, Bernard, *Au commencement était l'image. Du dessin de l'enfant à la communication de l'adulte*, Paris, ESF, 1996, 319 p.
- DEBIENNE, Marie-Claire, *Le dessin chez l'enfant*, Paris, PUF, 1973, 122 p.
- DELEAU, Michel, *Imitation des gestes et représentation graphique du corps chez les enfants sourds*, Paris, CNRS, 1978, 137 p.
- GARDNER, Howard, *Gribouillages et dessins d'enfants : leur signification*, Bruxelles, Pierre Mardaga, 1960, 316 p.
- GREIG, Philippe, *L'enfant et son dessin Naissance de l'art et de l'écriture*, Ramonville Saint Agne, Erès, 2000, 301 p.
- JOLLEY, Richard P., *Children & Pictures. Drawing and understanding*, Wiley-Blackwell, 2010, 377 p.
- KELLOGG, Rhoda, *Analysing children art*, Mountain View, 1969, 294 p.
- LOWENFELD, Viktor and BRITTAIN, W. Lambert, *Creative and mental growth*, New York, Macmilan, 1964, 412 p.
- LUQUET, Georges-Henri, *Le dessin enfantin*, Paris, Delachaux et Niestlé, 1927/1972.
- LURÇAT, Liliane, *Etudes de l'acte graphique*, Paris, Mouton, 1974, 215 p.
- LURÇAT, Liliane, *L'acte graphique à l'école maternelle*, Paris, ESF, 1980, 149 p.
- MARC, Varenka et MARC, Olivier, *Premiers dessins d'enfants, les tracés de la mémoire*, Paris, Nathan, 1992, 207 p.
- MURCIA, Raymond, « Place et rôle du mouvement dans le développement de l'enfant », *Le jeune enfant, son corps, le mouvement et la danse*, éd. Gilles Hermet et Martine Jardiné, Ramonville Saint-Agne, Érès, 1996, p. 95-103.
- OSTERRIETH, Paul Alexandre, « Le dessin chez l'enfant », *Traité de psychologie de l'enfant, Tome 6 Les modes d'expression*, éd. Paul Alexandre Osterrieth et Pierre Oléron, Paris, PUF, 1976, p. 7-69.
- PAOLETTI, René, *Education et Motricité, L'enfant, de 2 à 8 ans*, Gaëtan Marin Editeur, 1999, 215 p.
- PIAGET, Jean et INHELDER, Bärbel, *La représentation de l'espace chez l'enfant*, Paris, PUF, 1947, 574 p.
- RAFFIER-MALOSTO, Jocelyne (dir.), *Le dessin de l'enfant, De l'approche génétique à l'interprétation clinique*, Paris, La pensée sauvage, 1996/2004, 392 p.
- TAJAN, Alfred, *La graphomotricité, Que sais-je ?*, Paris, PUF, 1982, 127 p.

THELEN, Esther, "Timing and Developmental Dynamics in the Acquisition of Early Motor Skills", *Developmental Time and Timing*, ed. Gerald Turkevitz and Darlyne A. Devenny, Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates, 1993, p. 85-104.

WALLON, Henri et LURÇAT, Liliane, *Dessin, espace et schéma corporel chez l'enfant*, Paris, ESF, 1987, 151 p.

Articles

BEKKERING, Harold, WOHLSCHLÄGER, Andreas and GATTIS, Merideth, "Imitation of Gestures in Children is Goal-directed", *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A(1), 2000, p. 153-164.

CHARTREL, Estelle et VINTER, Annie, « L'écriture : une activité longue et complexe à acquérir », *Approche Neuropsychologique de l'Apprentissage chez l'Enfant*, 78, 2004, p. 174-180.

DARRAS, Bernard et KINDLER, Anna M., « L'entrée dans la graphosphère : les icônes de gestes et de traces. Approche sémiotique et cognitive. », *Médiation et Information*, 6, Paris, L'Harmattan, 1997, p. 99-111.

GOUTEL, Monique, « Développement psychomoteur et apprentissage moteur de l'enfant de 4 ans à 8 ans », *Marsyas*, 31, septembre 1994, p. 83-89.

JACKSON, Philip L. and DECETY, Jean, "Motor cognition : a new paradigm to study self-other interactions", *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 2004, p. 259-263.

LURÇAT, Liliane, « Genèse de l'acte graphique », *Bulletin de psychologie*, (8), Janvier 1966, p. 506-515.

LURÇAT, Liliane, « Aspects du contrôle des tracés produits par les jeunes enfants », *Rééducation orthophonique*, 13(8), 1975, p. 293-306.

MATTHEWS, John, "Children's drawings : are young children really scribbling ?", *Early child Development and Care*, 18, 1984, p. 1-9.

VINTER, Annie et MAROT, Valérie, « Les activités de dessin chez l'enfant : un accès à l'étude de ses représentations mentales », *Approche Neuropsychologique de l'Apprentissage chez l'Enfant*, (72), 2003, p. 95-106.

WALLON, Henri, « Syndromes d'insuffisance psycho-motrice et types psycho-moteurs », *Enfance*, (4), 1932, Paris, p. 48-59.

WALLON, Henri, « Importance du mouvement dans le développement psychologique de l'enfant », *Enfance*, (9-2), 1956, Paris, p. 1-4.

WRIGHT, Susan, "Multi-Modality in a New Key : The Significance of the Arts in Research and Education", *AARE 2002 Conference Papers*, ed. P. Jeffery, Brisbane, Queensland, December 1-5, 2002, p. 1-15.

WRIGHT, Susan, “Graphic-Narrative Play : Authoring Through Multiple Texts”, *Centre for Research in Pedagogy and Practice*, National Institute of Education, Singapore, 2006, p. 1-17, Internet, le 26/06/2011.

Travaux universitaires

LURÇAT, Liliane, *Evolution de l'élaboration de l'espace chez l'enfant*, Thèse d'Etat, Université Paris 8, Psychologie, dir. Tran-Thong, 18 vol., 1979.

INDEX NOMINUM

A

ABECASIS, Donna · 729
 ACCAOUI, Christian · 38, 39, 43, 46, 717
 ACKERMANN, Edith · 747
 AGAWU, Kofi · 17, 722
 AGON, Carlos · 747
 ALVAREZ-PEREYRE, Franck · 30, 718
 ANGELINO, Lucia · 731
 ANSERMET, Ernest · 718
 ARAMAKI, Mitsuko · 233, 724, 728, 745
 ARBO, Alessandro · 725
 ARCHILOQUE · 89
 ARISTOTE · 90
 ARISTOXÈNE de TARENTE · 91, 92
 ARNOLD, Denis · 44, 716
 AROM, Simha · 28, 29, 30, 31, 33, 34, 47, 48, 49, 209,
 718, 722
 ASHLEY, D. Richard · 722
 AUCOIN, Michel · 94, 730
 AULNETTE, Frédéric · 9
 AUXIETTE, Catherine · 245, 758
 AYARI, Mondher · 718

B

BACH, Johann Sebastian · 131
 BACHELARD, Gaston · 41, 715
 BACHMANN, Marie-Laure · 752
 BADIR, Sémir · 351, 736
 BAGGIO, Dessie · 763
 BAHRICK, Lorraine E. · 244, 757
 BAILES, Freya A. · 737
 BAILY, John · 186, 736
 BAMBERGER, Jeanne · 253, 277, 278, 280, 281, 282, 298,
 725, 752, 754, 762
 BARBE, Walter · 752
 BARBEROUSSE, Anouk · 715
 BARRETT, Margaret S. · 754, 757
 BARTH, Brith-Mary · 749
 BARTOK, Béla · 148
 BARTOLI, Jean-Pierre · 726
 BARUCH, Clarysse · 183, 245, 253, 263, 726, 757
 BAUMANN, Simon · 79, 739
 BAUMGARTEN, Franziska · 219, 739
 BEAULIEU, Désiré · 731
 BECKER, Judith · 80, 739
 BECKING, Gustav · 119, 120, 121, 122, 123, 125, 130,
 138, 150, 151, 157, 234
 BEETHOVEN, Ludwig van · 152
 BEKKERING, Harold · 765
 BELIC, Milija · 731

BENESH, Rudolf · 49
 BENT, Ian D. · 716
 BERGER, Eve · 213, 312, 731
 BERGESON, Tonya R. · 757
 BERGSON, Henri · 194, 195, 718
 BERLIOZ, Hector · 148
 BERNARD, Claude · 717
 BERNARDINI, Nicola · 113, 724
 BERTHOZ, Alain · 213, 214, 731, 736
 BERTIN, Jacques · 223, 731
 BESSON, Dominique · 739
 BÉVILACQUA, Frédéric · 737, 747
 BHARUCHA, Jamshed J. · 277, 723
 BIDEAUD, Jacqueline · 749
 BIENSTOCK, Sylvia F. · 246, 759
 BIGAND, Emmanuel · 726, 739
 BISPHAM, John C. · 722, 726
 BLACKING, John · 718, 754
 BLOOD, Anne J. · 168, 739
 BOBIN-BÈGUE, Anne · 181, 244, 245, 248, 262, 263, 757,
 763
 BOISSIÈRE, Anne · 95, 718
 BOLTON, Thaddeus L. · 72, 173, 739
 BOLTZ, Marilyn · 183
 BON, Denis · 716
 BONNET, Claude · 213, 731
 BORILLO, Mario · 731
 BOSSEUR, Jean-Yves · 731, 732
 BOTTE, Marie-Claire · 181, 246, 741
 BOUCOURECHLIEV, André · 93, 718
 BOUDINET, Gilles · 718
 BOUISSOU, Sylvie · 732
 BOULEZ, Pierre · 732
 BRAHMS, Johannes · 132
 BRAILOIU, Constantin · 252, 718, 752
 BRAND, Diane C. · 762
 BRETT, Matthew · 178, 746
 BRIESEN, August von · 232
 BRIL, Blandine · 218, 739, 747
 BRITTAÏN, W. Lambert · 271, 764
 BRODY, Martin · 725
 BROSSIER, Paul · 352
 BROWN, Steven · 722
 BRUCHON, Marilou · 740
 BRUCHON-SCHWEITZER, Marilou · 138, 147, 741
 BRUNER, Jerome S. · 211, 212, 238, 272, 276, 282, 751
 BRUNER, Jerome S. S. · 749
 BUCHER, Huguette · 763
 BULLINGER, André · 763
 BULLOCK, Jamie · 352
 BURLE, Boris · 248, 757
 BURSZTEJN, Claude · 749
 BUYTENDIJK, Frederik Jacobus Johannes · 97, 215, 216,
 217, 222, 223, 227, 732
 BYRNE, J. M. · 199, 755

BYRON, Tim · 725, 737

C

CADOPI, Marielle · 214, 215, 738, 756
 CAMP, Max W. · 754
 CANAZZA, Sergio · 740
 CANNAM, Chris · 352, 747
 CARAMIAUX, Baptiste · 737, 746, 747
 CARRICK, Frederick R. · 169, 740
 CARUANA, Francesca · 732
 CASINI, Laurence · 248, 757
 CASTARÈDE, Marie-France · 757
 CAUGAN, François · 9
 CAZES, Pierre · 740
 CELESTE, Bernadette · 752
 CERIANI, Giulia · 718
 CHAILLEY, Jacques · 50, 718, 732
 CHALLET-HAAS, Jacqueline · 49, 732
 CHANG, Hsing-Wu · 199, 253, 254, 761
 CHAPUY, Kevin · 71
 CHARTREL, Estelle · 765
 CHAUVIRÉ, Christiane · 716
 CHEMILLIER, Marc · 737
 CHEN, Joyce L. · 80, 180, 740
 CHOUARD, Claude-Henri · 718
 CHOUVEL, Jean-Marc · 9, 52, 88, 716, 718, 722
 CHRISTIANSON, Helen M. · 174, 243, 752
 CLAIROUIN-OLÉRON, Geneviève · 174, 239, 244, 245, 758
 CLARKE, Eric · 55
 CLARKE, Eric F. · 55, 722, 723, 729, 737
 CLYNES, Manfred · 96, 138, 149, 150, 151, 152, 153, 737, 740
 COHEN, Annabel J. · 740
 COLIN, Cécile · 357
 COLLARD, René · 744
 COLLEY, Bernadette · 253, 755
 COMETTI, Jean-Pierre · 732
 CONDON, William S. · 244, 757
 CONTÉ, Pierre · 49
 COOPER, Grosvenor · 149
 CORROYER, Denis · 715
 COSTE, Jean-Claude · 732
 COUPRIE, Pierre · 9
 COURT, Raymond · 48, 718, 740
 COUSIN, Nathalie · 716
 COUSINS, Rosanna · 184, 745
 COWAN, Nelson · 207, 737
 COWART, Monica · 76, 752
 COX, Arnie · 82, 171, 726, 740

D

DAHL, Sofia · 186
 DALLET, Sylvie · 732
 DAMASIO, Antonio · 99
 DANUSER, Brigitta · 178, 741
 DARBELLAY, Etienne · 723, 726
 DARRAS, Bernard · 210, 271, 273, 732, 764, 765
 DARSEL, Sandrine · 718

DAUDET, Laurent · 9, 357
 DAUPHIN, Claude · 265, 754
 DAVIDSON, Jane W. · 185, 726
 DAVIDSON, Lyle · 250, 253, 254, 755
 DAVIES, Stephen · 719
 De BRUYN, Leen · 154, 170, 740, 763
 De CASPER, Anthony J. · 199, 757
 DE KÉTÉLÉ, Jean-Marie · 715, 750
 DE LANDSHEERE, Gilbert · 715
 De MICHEAUX, Thierry · 9
 De VIVO, Raphaël · 719
 DE VRIES, Bart · 153, 741
 DEAN, Roger T. · 737
 DEBIENNE, Marie-Claire · 764
 DEBUSSY, Claude · 140, 143, 144
 DECARSIN, François · 719
 DECETY, Jean · 765
 DELALANDE, François · 67, 184, 185, 258, 719, 726, 729, 740, 752, 757
 DELBÉ, Charles · 726
 DELDIME, Roger · 749
 DELEAU, Michel · 749, 764
 DELIEGE, Irène · 59, 60, 723, 726, 752
 DEMANY, Laurent · 199, 253, 254, 255, 757, 758
 DÉMOCRITE · 90
 DEMOREST, Steven M. · 763
 DENÈGRE, Jean · 224, 732
 DENIS, Michel · 732
 DENIZEAU, Gérard · 732
 DEPLECKER, Loïc · 715
 DERIU, Rosalba · 265, 755
 DESAIN, Peter · 188, 740
 DESCARTES, René · 719
 DESEQUELLES, Anne-Claire · 39, 719
 DISERENS, Charles M. · 171, 741
 DORON, Roland · 716
 DOVAL, Boris · 9
 DOWLING, W. Jay · 247, 249, 752, 754, 755
 DRAKE, Carolyn · 181, 183, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 253, 255, 263, 726, 741, 755, 757, 758
 DRAPER, Thomas W. · 254
 DUCROT, Oswald · 716
 DUFOURT, Hugues · 719, 723
 DUFRENNE, Mikel · 45, 719, 732
 DUMAURIER, Elisabeth · 256, 752, 753
 DUPLAY, Mathieu · 718
 DURAND, Marc · 333, 732

E

ECKERDAL, Patricia · 742
 EDELIN, Francis · 737
 EEROLA, Tuomas · 245, 763
 EHRENFELS, Christian von · 59
 EHRLE, Nathalie · 725
 EHRLICH, Stéphane · 741
 EITAN, Zohar · 55, 107, 441, 726, 741
 EPSTEIN, David · 44
 ERLANGER d', Rodolphe · 316
 ERLANGER, Rodolphe d' · 719
 ESCLAPEZ, Christine · 732
 ESSENS, Peter J. · 247, 727, 758, 760

F

FALLOWS, David · 717
 FEÏLANE, Dora · 116
 FELGINE, Odile · 732
 FÉRÉ, Charles · 173
 FERRARA, Elena · 114, 258, 763
 FEUGÈRE, Lionel · 9, 365
 FIFER, William P. · 199, 757
 FIJALKOW, Claire · 718
 FILIPIC, Suzanne · 726
 FLOHR, John W · 763
 FOCILLON, Henri · 733
 FOGASSI, Leonardo · 78, 744
 FRAISSE, Paul · 18, 58, 59, 60, 62, 73, 74, 111, 172, 173, 174, 180, 181, 182, 183, 204, 205, 206, 239, 240, 241, 243, 244, 245, 247, 251, 252, 255, 256, 262, 264, 719, 723, 727, 741, 753, 758
 FRANCÈS, Robert · 119, 138, 139, 140, 145, 146, 147, 172, 208, 209, 256, 311, 733, 741, 749
 FRANCK, César · 148
 FRANCOIS, Hélène · 9
 FRANÇOISE, Jules · 747
 FREY, Aline · 71, 729
 FRIBERG, Anders · 187, 745
 FRIGYESI, Judit · 48, 727
 FRYDEN, Lars · 187, 745

G

GABRIELSSON, Alf · 106, 123, 124, 188, 250, 265, 719, 723, 727
 GALIFRET-GRANJON, Nadine · 211, 749
 GALLAGHER, Melinda · 251, 760
 GALLESE, Vittorio · 78, 741, 744
 GARCIA, Jérémie · 9, 747
 GARDNER, Howard · 238, 270, 751, 758, 764
 GATEWOOD, Esther L. · 105, 173, 723
 GATTIS, Merideth · 765
 GAUTHEYRIE, Denis · 9
 GEMBRIS, Heiner · 753
 GENEVOIS, Hugues · 719
 GÉRARD, Claire · 245, 249, 250, 251, 252, 254, 256, 262, 758
 GERBE, Juliette · 9
 GESELL, Arnold · 749
 GIBBON, John · 199, 756
 GIBRAT, Jean-Pierre · 752
 GIBSON, James J. · 126, 232, 233
 GILBERT, Janet P. · 245, 759
 GIORDANO, Bruno L. · 724
 GJERDINGEN, Robert O. · 188, 741
 GLENBERG, Arthur M. · 736
 GOASDOUÉ, Rémi · 747
 GOBIN, Pascal · 67, 729
 GOBLOT, Edmond · 172
 GODØY, Rolf Inge · 77, 154, 155, 157, 161, 162, 163, 170, 171, 733, 741, 747, 748
 GOLSE, Bernard · 749
 GOMEZ, Patrick · 178, 741
 GOODMAN, Nelson · 210, 211, 733

GOODY, Jack · 733
 GORDON, Edwin E. · 753
 GOUBAULT, Christian · 732
 GOUTEL, Monique · 261, 765
 GOYEAU, Jean-Baptiste · 352, 746
 GRAESSER, Arthur C. · 736
 GRAFTON, Scott T. · 178, 742
 GRAHN, Jessica A. · 178, 746
 GRANOT, Roni Y. · 55, 107, 441, 726
 GRATIER, Maya · 176, 733
 GRAZIANO, Michael S.A. · 78, 727
 GREIG, Philippe · 764
 GRIESHABER, Kate · 248, 759
 GRIESHABER, Susan · 759
 GRISEY, Gérard · 27
 GROMKO, Joyce E. · 184, 727
 GROSS, Charles G. · 78, 727
 GUERIN, Michel · 733
 GUEUZE, Reint H. · 247, 761
 GUIDETTI, Michèle · 235, 750
 GUILLAUME, Paul · 719
 GUILLOT, Gérald · 9, 357, 729
 GUIRARD, Laurent · 733

H

HAAG, Geneviève · 270
 HAGA, Egil · 116, 155, 157, 158, 747, 748
 HAIR, Harriet I. · 759
 HALL, Edward T. · 47, 311, 719
 HANNON, Erin E. · 244, 759, 761
 HANSLICK, Edouard · 97, 719
 HARDING, Kelly Kristine · 762
 HARGREAVES, David J. · 249, 253, 279, 720, 753
 HARTUNG, Hans · 221
 HARWOOD, Dane L. · 752
 HASTY, Christopher · 34
 HATCH, Thomas · 751
 HATWELL, Yvette · 199, 755
 HAUTOBOIS, Xavier · 70, 230, 727
 HEDDEN, Steven K. · 742
 HENRY, Michel · 733
 HENRY, Pierre · 720
 HERMELIN, Beate · 735, 750
 HILDEBRANDT, Adolf · 733
 HILL, David S. · 759
 HIRIARTBORDE, Edmond · 74, 175, 237, 239, 243, 247, 250, 262, 753
 HODGES, Donald A. · 79, 168, 737
 HODGINS, Paul · 114, 733
 HOKKERMAN, Hans · 728
 HONING, Henkjan · 188, 728, 740
 HOUDÉ, Olivier · 749
 HULSEBUS, R. C. · 263, 755
 HURON, David · 748
 HUSSERL, Edmund · 715, 733

I

IACOBONI, Marco · 78, 742
 IANNONE, Alexandra Emilia · 727

ILG, Frances L. · 749
 IMBERTY, Michel · 139, 145, 176, 225, 226, 256, 257,
 720, 733
 INHELDER, Bärbel · 236, 260, 271, 275, 276, 750, 751,
 764
 IVERSEN, John R. · 727
 IYER, Vijay S. · 748

J

JACKENDOFF, Ray S. · 59, 149
 JACKSON, Philip L. · 765
 JAMES, William · 204
 JANATA, Petr · 178, 742
 JACQUES-DALCROZE, Emile · 113, 134, 266, 733
 JENSENIUS, Alexander Refsum · 155, 157, 158, 162, 747,
 748
 JERSILD, Arthur T. · 246, 759
 JOHNSON, Mark L. · 80, 81, 82, 83, 84, 727, 733, 734
 JOHNSON, Scott P. · 244, 759
 JOLLEY, Richard P. · 764
 JOLY, Martine · 733
 JOLY, Philippe · 737
 JONES, Mari Riess · 183, 723
 JOUD, Sylvie · 9
 JOUSSE, Marcel · 172, 733, 748
 JUHEL, Françoise · 218, 717
 JUNOD, Philippe · 734
 JUSTLIN, Patrik N. · 170, 742
 JUSTUS, Timothy C. · 277, 723

K

KAMENETSKY, Stuart B. · 759
 KANDINSKY, Vassily · 221, 224, 231, 734
 KARMILOFF-SMITH, Annette · 272, 749
 KELLOGG, Rhoda · 270, 271, 764
 KINDLER, Anna M. · 210, 273, 765
 KINTZLER, Catherine · 734
 KISTLER, Max · 715
 KLEE, Paul · 221, 734
 KLINKENBERG, Jean-Marie · 737
 KODALY, Zoltan · 266
 KOFFKA, Kurt · 63, 72, 204, 742
 KOHLER, Evelyne · 78, 742
 KÖHLER, Wolfgang · 720
 KOPIEZ, Reinhard · 747
 KOVALEFF BAKER, Nancy · 717
 KRONLAND-MARTINET, Richard · 233, 724, 728, 745
 KRONMAN, Ulf · 187, 737
 KRUEGER, Ted · 737
 KRUMHANSL, Carol L. · 115, 249, 723, 742, 760
 KÜHL, Ole · 720
 KUHL, Patricia K. · 198, 759
 KUHN, Thomas S. · 715

L

LA LIBERTÉ, Martin · 313

LABAN, Rudolf · 49
 LACAZE, Marie-Françoise · 753
 LAIRD-WAH, James · 9, 357
 LAKOFF, George · 80, 81, 82, 734
 LALITTE, Philippe · 207
 LAMONT, Alexandra · 755
 LANDONE, Christian · 352, 747
 LANGER, Susanne K. · 11, 65, 93, 94, 95, 96, 98, 102, 149,
 720
 LANGNER, Jörg · 747
 LARNOUR, Henri · 748
 LAROCHE CHAMBERT-LOIR, Nathalie · 9
 LARSON, Steve · 80, 82, 83, 84, 727
 LAU, Margaret · 759
 LAUXEROIS, Jean · 734
 LAWSON, Katharine R. · 199, 759
 LE GUÉNNANT, Auguste · 58
 LECOURS, André Roch · 238, 762
 LEE, Christopher S. · 180, 184, 724, 745
 LEMAN, Marc · 77, 113, 154, 159, 160, 161, 170, 724,
 733, 734, 740, 763
 LERDAHL, Fred · 59, 149
 LEROI-GOURHAN, André · 734
 LEROY, Ghislain · 9
 LEROY, Jean-Luc · 258, 720
 LESTIENNE, Francis · 213, 731
 LEVI-STRAUSS, Claude · 734
 LEVITIN, Daniel J. · 79, 727
 LÉVY, Fabien · 716, 734
 LEVY, Jean-Claude · 9
 LEWKOWICZ, David J. · 198, 759
 LHÔTE, André · 734
 LICKLITER, Robert · 244, 757
 LIDOV, David · 223, 730
 LONDON, Justin · 17, 32, 43, 181, 183, 204, 208, 717, 748
 LOPEZ CANO, Ruben · 169, 727
 LOWENFELD, Viktor · 271, 764
 LUCK, Geoff · 180, 184, 245, 746, 763
 LUDWIG, Pascal · 715
 LUQUET, Georges-Henri · 268, 764
 LURÇAT, Liliane · 267, 268, 273, 274, 276, 337, 764, 765,
 766
 LUSSON, Pierre · 727
 LUSSY, Mathis · 720
 LYONS-RUTH, Karlen · 199, 759

M

MACAR, Françoise · 720
 MacAULEY, J. Devin · 244, 759
 MACDONALD, Raymond · 720
 MacDOUGALL, Robert · 72, 742
 MacGUINNESS, Andrew · 730
 MacKAIN, Kristine S. · 198, 759
 MACKAY Wendy E. · 747
 MacKENZIE, Beryl · 253, 254, 758
 MADISON, Guy S. · 742
 MADURELL, François · 9, 724, 730
 MAKHLOUF, Hamdi · 718
 MALRIEU, Philippe · 753
 MANDELBRODT, Jacques · 229, 230
 MARC, Olivier · 764

MARC, Varenka · 764
 MARCHAND, Chrystel · 720
 MARCHÉ, Julien · 9, 357
 MARKS, Lawrence E. · 102, 734
 MAROT, Valérie · 765
 MARTENOT, Maurice · 266
 MARTIN, Franck · 720
 MATEL, Matthew S. · 178, 742
 MATTHEWS, John · 273, 765
 MAUSS, Marcel · 720
 McADAMS, Stephen · 207, 724
 MECK, Warren H. · 178, 742
 MEEÛS, Nicolas · 742
 MELEN, Marc · 759, 763
 MELOT, Michel · 735
 MELTZOFF, Andrew N. · 198, 759
 MENDELSON, Morton J. · 199, 759
 MENON, Vinod · 79, 727
 MERER, Adrien · 233, 724, 728, 729
 MERKER, Björn H. · 153, 175, 722, 742, 745
 MERLEAU-PONTY, Maurice · 75, 735
 MESNAGE, Marcel · 742
 MESSIAEN, Olivier · 13, 18, 37, 40, 42, 54, 720
 MEUMANN, Ernst · 72, 742
 MEUNIER-FROMENTI, Jacqueline · 39, 735
 MEYER, Leonard B. · 59, 62, 63, 64, 65, 96, 149, 720
 MIALARET, Gaston · 308, 716, 750
 MIALARET, Jean-Pierre · 9, 716, 753, 755, 760
 MICHAUX, Henri · 735
 MIELL, Dorothy · 720
 MILLER, C. L. · 199, 755
 MIROUDOT, Laurent · 257, 753
 MIRZABEKIANTZ, Eliane · 49, 735
 MIURA, Motoki · 330
 MIYAMOTO, Karen A. · 245, 760
 MOCQUEREAU, Dom André · 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 50, 51, 54, 57, 201, 721
 MOELANTS, Dirk · 170, 178, 740, 746, 763
 MOLINARI, M. · 176, 743
 MOLINO, Jean · 28, 30, 48, 721, 724, 743
 MONTANGERO, Jacques · 251, 256, 755
 MOOG, Helmut · 246, 753
 MORIER, Henri · 24
 MORIN, Edgar · 715
 MORIZOT, Jacques · 717, 735
 MORRONGIELLO, Barbara A. · 199, 760
 MOSZYNSKA, Anna · 735
 MOTTE-HABERT Helga de la · 105, 721
 MOUSSU, Guy · 746
 MOZART, Wolfgang Amadeus · 131, 148, 150
 MROCZKOWSKI, Stéphane · 735
 MUNRO, Thomas · 735
 MURCIA, Raymond · 764

N

NADEL, Jacqueline · 751
 NANNYONGA-TAMUSUZA, Sylvia · 737
 NATTIEZ, Jean-Jacques · 721, 737
 NELISSEN, Koen · 79, 728
 NETTL, Bruno · 177
 NICOLAS, François · 743

NYMOEN, Kristian · 162, 748

O

O'BOYLE, David J. · 180, 745
 O'CONNOR, Neil · 735, 750
 OHGUSHI, Kengo · 727
 OLÉRON, Geneviève · 111, 172, 173, 174, 179, 741, 743
 OLÉRON, Pierre · 268, 269, 275
 OLIVETTI, Belardinelli · 176
 OLIVIER, Julien · 9, 357
 OMÉTAK, Valérie · 280, 762
 ORFF, Carl · 266
 OSTERRIETH, Paul Alexandre · 268, 269, 275, 764

P

PAANANEN, Pirkko A. · 253, 760
 PACZYNSKI, Stanislas Georges · 735
 PADDISON, Max Halle · 717
 PAGANINI, Niccolò · 114
 PAILLARD, Jacques · 111, 172, 173, 174, 214, 227, 738, 741
 PALMER, Caroline · 188, 247, 249, 255, 728, 743, 758, 760
 PAOLETTI, René · 210, 263, 764
 PAROT, Françoise · 716
 PARRET, Herman · 57, 743
 PATEL, Aniruddh D. · 175, 178, 180, 724, 727, 743
 PATTISON, Philippa · 762
 PEDINIELLI, Jean-Louis · 749
 PEERY, J.Craig · 254
 PENEL, Amandine · 178, 728, 744
 PENHUNE, Virginia B. · 80, 176, 180, 740, 743
 PERETZ, Isabelle · 724
 PETERS, Michael · 182, 743
 PETIT, Christine · 167
 PHILLIPS-SILVER, Jessica · 184, 743, 760
 PIAGET, Jean · 194, 235, 236, 260, 271, 275, 276, 750, 753, 764
 PICARD, François · 730
 PICHOT, Pierre · 174, 239, 244, 245, 758
 PIERNÉ, Gabriel · 140, 142
 PINEAU, Marion · 721, 729
 PISTONE, Danièle · 732
 PLATEL, Hervé · 176, 744
 PLATON · 89, 90
 PLUCHON, Véronique · 9
 POLLOCK, Jackson · 221
 POORMAN, Allison Smith · 184, 727
 POPE, Anthony · 716
 PÖPPEL, Ernst · 204, 205, 206, 728
 POSTIC, Marcel · 715, 750
 POTIER, Caroline · 751
 POUIVET, Roger · 717
 POUTHAS, Viviane · 200
 POVEL, Dirk-Jan · 52, 247, 726, 727, 728, 744, 758, 760
 PRATT, Jean-François · 721
 PROUST, Joëlle · 735
 PROVASI, Joëlle · 181, 244, 245, 248, 262, 263, 757, 763

R

RAFFIER-MALOSTO, Jocelyne · 267, 275, 764
 RAINBOW, E. L. · 242, 760
 RAVEL, Maurice · 36
 REGNAULT, Cécile · 738
 RENARD, Claire · 48, 185, 257, 735
 REPP, Bruno H. · 120, 122, 124, 129, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 186, 187, 738, 744
 RETRA, José · 760
 REYBROUCK, Mark · 171, 738, 744, 747
 REYT, Claude · 210, 735
 RICKARD, Nikki S. · 168, 744
 RIEMANN, Hugo · 42, 44, 728
 RIESS, Lina A.J. · 78, 727
 RISSET, Jean-Claude · 52
 RIVIÈRE, Hervé · 29, 30, 724
 RIZZOLATTI, Giacomo · 78, 735, 744
 ROBERT-DEMONTROND, Philippe · 715
 ROCHEZ, Carine · 755
 ROEGIER, Xavier · 715
 ROSCH, Eleanor · 75, 736
 ROTEN, Hervé · 721
 ROUGET, Gilbert · 738
 ROUSSET, Julie · 230, 231
 ROWELL, Margit · 221, 735
 RUCKMICH, Christian A. · 73, 744
 RUSSEL, Bertrand · 715
 RUSSOVICH, Adrian · 729
 RUWET, Nicolas · 728

S

SACHS, Curt · 721
 SADAI, Yizhak · 721, 728
 SADIE, Stanley · 717
 SAMSON, Séverine · 725
 SANDER, Louis W. · 244, 757
 SANDLER, Mark · 352, 747
 SAUVAGEOT, Anne · 731
 SAUVANET, *Pierre* · 21, 22, 25, 27, 43, 45, 49, 54, 89, 201, 721
 SCALDAFERRI, Nicola · 48, 738
 SCARIOT, Claudine · 9
 SCHAEFFER, Jean-Marie · 716
 SCHAEFFER, Pierre · 721
 SCHAFER, Murray R. · 721
 SCHENCK, Diana Lynn · 115, 742
 SCHERER, Klaus R. · 152, 725
 SCHLAUG, Gottfried · 176, 744
 SCHLOEZER, Boris de · 139
 SCHMAHMANN, Jeremy D. · 176, 735
 SCHMIDT, Richard A. · 214, 744
 SCHNEIDER, Albrecht · 112
 SCHNEIDER, Roland · 220, 234, 746
 SCHNELL, Norbert · 737
 SCHOENDORFF, Max · 731
 SCHÖN, Daniele · 730
 SCHUBERT, Franz · 150
 SCRIPP, Larry · 254, 755
 SCRIPTURE, E. W. · 173, 735

SCRUTON, Roger · 55, 717
 SEARS, Charles, H. · 61
 SEARS, William W. · 168, 738
 SEASHORE, Carl Emil · 173, 188, 237, 240, 735
 SEASHORE, Robert H. · 73, 728
 SÉDÈS, Anne · 725
 SEEGER, Charles · 745
 SEGALERBA, Maria Guadalupe · 762
 SERAFINE, Mary Louise · 753
 SERVIEN, Pius · 46, 721
 SETHARES, William A. · 725
 SÈVE, Bernard · 721
 SGARD, Pierre-Marie · 726
 SHEHAN, Patricia K. · 756
 SHMULEVICH, Ilya · 728
 SHOVE, Patrick · 187, 738
 SHUTER-DYSON, Rosamund · 237, 240, 753, 756
 SIEVERS, Eduard · 119, 120, 121, 130, 138, 234
 SIKORA, Elzbieta · 745
 SIMS, Wendy L. · 760
 SINCLAIR, Hermine · 272, 280, 753
 SINIGAGLIA, Corrado · 78, 735
 SLOBODA, John A. · 244, 752, 753
 SMITH, Leigh M. · 728
 SMITH, Linda B. · 261, 750, 751
 SOUCHET, Matthieu · 9, 314, 315
 SOULAS, Brigitte · 753
 SOURIAU, Etienne · 717, 736
 SOURIAU, Paul · 56, 63, 736
 SOURIS, André · 25
 SPAMPINATO, Francesco · 721
 SPELKE, Elizabeth S. · 199, 760
 STAMBAK, Mira · 242, 255, 256, 754
 STEFANI, Gino · 730
 STERN, Daniel N. · 96, 98, 99, 102, 111, 195, 196, 197, 199, 200, 204, 205, 206, 252, 721, 722, 750, 756
 STEVENS, Catherine J. · 251, 760
 STEVENS, Kate · 725
 STOFFEL, Christian · 747
 STRAVINSKY, Igor · 148
 STREHLE, Hermann · 147, 745
 STUCCHI, Natale · 221, 234
 STYNS, Frederik · 113, 156, 246, 724, 760
 SULITEANU, Ghizela · 243, 756
 SUNDBERG, Johan · 187, 737, 745
 SUTER, Louis-Marc · 38, 722
 SWANWICK, Keith · 249, 250, 761
 SWASSING, Raymond · 752
 SZENDY, Peter · 734

T

TAFURI, Johannella · 114, 258, 288, 756, 763
 TAJAN, Alfred · 268, 764
 TARASTI, Eero · 736
 TARTAS, Valérie · 754
 TASSET, Annie · 731
 TAYLOR, Dale B. · 237
 TECCHIO, Franca · 79, 728
 TEPLOV, Boris Mikhailovich · 73, 74, 202, 203, 239, 264, 265, 754
 THACKRAY, Rupert · 240

THAUT, Michael H. · 79, 176, 178, 725, 729
 THELEN, Esther · 261, 750, 751, 765
 THOMPSON, Evan · 75, 736
 THOMPSON, Marc R. · 180, 184, 746
 THON, Bernard · 214, 215, 738, 756
 THORET, Etienne · 233, 745
 THORPE, Leigh A. · 246, 254, 255, 761
 TIGHE, Thomas J. · 754
 TIJUS, Charles · 750
 TILLMAN, June · 249, 250, 761
 TILLMANN, Barbara · 721
 TIMSIT-BERTHIER, Martine · 227, 745
 TISSERON, Serge · 272, 736
 TODD, Neil, P. McAngus · 126, 138, 153, 169, 180, 184, 186, 187, 188, 738, 745, 747
 TOIVIAINEN, Petri · 180, 184, 245, 746, 763
 TOKUMARU, Yoshihiko · 738
 TORFF, Bruce · 751
 TORRESEN, Jim · 162, 748
 TOURRETTE, Catherine · 235, 750
 TRAINOR, Laurel J. · 184, 743, 746, 760
 TREHUB, Sandra E. · 199, 246, 248, 249, 253, 254, 255, 256, 757, 759, 760, 761
 TREVARTHEN, Colwyn · 206, 244, 756
 TRIQUILLER, Jean-Marc · 9
 TRUSLIT, Alexander · 119, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 153, 234, 539, 722
 TSANDILAS, Theophanis · 747
 TSIN, Annick · 9
 TUFTE, Edward R. · 736
 TURKEWITZ, Gerald · 198, 759
 TWARKOWSKI, Kasimir · 715

U

UMEMOTO, Takao · 756
 UPITIS, Rena · 254, 756, 761

V

VALENTINE, Vincent · 716
 VAN NOORDEN, Leon · 148, 156, 178, 247, 746, 748
 VARELA, Francisco J. · 75, 77, 736
 VAUGHAN, M. · 246
 VECCHIONE, Bernard · 36, 208, 729
 VEGA, Manuel de · 736
 VEITL, Anne · 732
 VELAY, Jean-Luc · 233, 745
 VERCOE, Barus · 725
 VERMEULEN, Sonia · 749
 VERNANT, Denis · 746
 VERRILLO, Ronald T. · 187, 745
 VILLELA-PETIT, Maria · 55, 725

VINTER, Annie · 261, 765
 VIRET, Jacques · 226, 725
 VIVIANI, Paolo · 220, 221, 234, 739, 746
 VOLMAN, Chiel · 247, 761
 VURPILLOT, Eliane · 253, 254, 758
 VYGOTSKY, Lev Semenovitch · 722, 750, 751

W

WAHL, Marcelle · 736
 WALES, Roger J. · 762
 WALKER, Janice · 149, 151, 737
 WALLIN, Nils L. · 722
 WALLON, Henri · 75, 235, 236, 259, 260, 269, 274, 750, 751, 765
 WEBER, Max · 722
 WEIL-BARAIS, Annick · 751
 WEISS PEERY, Irène · 254
 WEISSER, Stéphanie · 746
 WEIZSÄCKER, Victor von · 222
 WERTHEIMER, Max · 59
 WILLEMS, Edgar · 37, 45, 46, 58, 185, 201, 267, 722, 754
 WILSON Sarah J. · 762
 WILSON, Margaret · 751
 WILZ, Martin · 747
 WINDSOR, W. Luke · 729
 WINNER, Ellen · 271, 756
 WINTER, Patrice · 9
 WIRTHNER, Martine · 237, 754
 WITTGENSTEIN, Ludwig · 11, 715
 WOHLSCHLÄGER, Andreas · 765
 WOLF, Debbie Lynn · 762
 WOLFF, Marion · 715
 WRIGHT, Matt · 353
 WRIGHT, Susan · 765, 766
 WUNDT, Wilhelm M. · 72, 736
 WUNENBURGER, Jean-Jacques · 22, 722

Y

YAKOVLEV, Paul Ivan · 238, 762
 YAMMINE, Habib · 9, 309, 314, 316, 746
 YSTAD, Solvi · 233, 724, 728, 745

Z

ZATORRE, Robert J. · 80, 168, 180, 739, 740
 ZENATTI, Arlette · 139, 145, 237, 238, 239, 240, 242, 250, 251, 255, 256, 754, 762
 ZENTNER, Marcel R. · 152, 725
 ZUILI, Nadine · 758
 ZULAUF, Madeleine · 237, 754

TABLE DES ILLUSTRATIONS

1 Exemples musicaux

EXEMPLE MUSICAL 1: RYTHME 1 "TROT"	318
EXEMPLE MUSICAL 2: RYTHME 2 "GALOP"	318
EXEMPLE MUSICAL 3: RYTHME 3 "GRAND GALOP"	318
EXEMPLE MUSICAL 4: RYTHME 4 « SEPT SAUTS »	318
EXEMPLE MUSICAL 5: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	319
EXEMPLE MUSICAL 6: RYTHME 6 « TOURNER »	319
EXEMPLE MUSICAL 7: RYTHME 7 « TOURNER EN ACCELERANT »	319
EXEMPLE MUSICAL 8: RYTHME 8 « TOURNOYER »	319
EXEMPLE MUSICAL 9: RYTHME 9 "GRAPHISME 1 POINTE"	320
EXEMPLE MUSICAL 10: RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	320
EXEMPLE MUSICAL 11: RYTHME 11 "GRAPHISME 3 ARCHE"	320
EXEMPLE MUSICAL 12: RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	320
EXEMPLE MUSICAL 13: RYTHME 13 « CRESCENDO »	321
EXEMPLE MUSICAL 14: RYTHME 14 « DECRESCENDO »	321
EXEMPLE MUSICAL 15: RYTHME 15 « ACCELERANDO »	321
EXEMPLE MUSICAL 16: RYTHME 16 « RALLENTANDO »	321
EXEMPLE MUSICAL 17: RYTHME 17 « CYCLE ACCELERANDO »	322
EXEMPLE MUSICAL 18: RYTHME « CYCLE RALLENTANDO »	322
EXEMPLE MUSICAL 19: RYTHME 19 « RETARD FINAL »	322
EXEMPLE MUSICAL 20: RYTHME 20 « SYNCOPE »	322
EXEMPLE MUSICAL 21: RYTHME 21 « CYCLE TRONQUE »	322
EXEMPLE MUSICAL 22: RYTHME 22 « CYCLE ENRICHISSE »	323
EXEMPLE MUSICAL 23: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	323
EXEMPLE MUSICAL 24: RYTHME 24 « DEUX TEMPI 70-140 BPM »	323
EXEMPLE MUSICAL 25: RYTHME 1 « TROT »	354
EXEMPLE MUSICAL 26: RYTHME 24 "DEUX TEMPI 70-140 BPM"	355
EXEMPLE MUSICAL 27: RYTHME 15 « ACCELERANDO »	372
EXEMPLE MUSICAL 28: RYTHME 2 « GALOP »	372
EXEMPLE MUSICAL 29: RYTHME 4 « SEPT SAUTS »	373
EXEMPLE MUSICAL 30: RYTHME 1 « TROT »	373
EXEMPLE MUSICAL 31: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	373
EXEMPLE MUSICAL 32: RYTHME 15 « ACCELERANDO »	373
EXEMPLE MUSICAL 33: RYTHME 15 « ACCELERANDO »	374
EXEMPLE MUSICAL 34: RYTHME 9 GRAPHISME POINTE »	374
EXEMPLE MUSICAL 35: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	374
EXEMPLE MUSICAL 36: RYTHME 24 « DEUX TEMPI 70-140 »	374
EXEMPLE MUSICAL 37: RYTHME 6 « TOURNER »	375
EXEMPLE MUSICAL 38: RYTHME 20 « SYNCOPE »	375
EXEMPLE MUSICAL 39: RYTHME 24 « DEUX TEMPI 70-140 BPM »	375
EXEMPLE MUSICAL 40: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	383
EXEMPLE MUSICAL 41: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	383
EXEMPLE MUSICAL 42: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	386
EXEMPLE MUSICAL 43: RYTHME 18 « CYCLE RALLENTANDO »	386
EXEMPLE MUSICAL 44: RYTHME 19 « RETARD FINAL »	386
EXEMPLE MUSICAL 45: RYTHME 13 « CRESCENDO »	386
EXEMPLE MUSICAL 46: RYTHME 14 « DECRESCENDO »	387

EXEMPLE MUSICAL 47: RYTHME 17 « CYCLE <i>ACCELERANDO</i> »	389
EXEMPLE MUSICAL 48: RYTHME 4 « SEPT SAUTS »	389
EXEMPLE MUSICAL 49: RYTHME 18 « CYCLE <i>ACCELERANDO</i> »	393
EXEMPLE MUSICAL 50: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	394
EXEMPLE MUSICAL 51: RYTHME 1 « TROT »	394
EXEMPLE MUSICAL 52: RYTHME 13 « <i>CRESCENDO</i> »	397
EXEMPLE MUSICAL 53: RYTHME 13 « <i>CRESCENDO</i> »	397
EXEMPLE MUSICAL 54: RYTHME 16 « <i>RALLENTANDO</i> »	397
EXEMPLE MUSICAL 55: RYTHME 7 « TOURNER EN ACCELERANT »	397
EXEMPLE MUSICAL 56: RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	398
EXEMPLE MUSICAL 57: RYTHME 16 « <i>RALLENTANDO</i> »	398
EXEMPLE MUSICAL 58: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	401
EXEMPLE MUSICAL 59: RYTHME 1 « TROT »	401
EXEMPLE MUSICAL 60: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	401
EXEMPLE MUSICAL 61: RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	402
EXEMPLE MUSICAL 62: RYTHME 17 « CYCLE <i>ACCELERANDO</i> »	402
EXEMPLE MUSICAL 63: RYTHME 24 « DEUX TEMPI 70-140 BPM »	402
EXEMPLE MUSICAL 64: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	402
EXEMPLE MUSICAL 65: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	411
EXEMPLE MUSICAL 66: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	417
EXEMPLE MUSICAL 67: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	437
EXEMPLE MUSICAL 68: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	437
EXEMPLE MUSICAL 69: RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	437
EXEMPLE MUSICAL 70: RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	437
EXEMPLE MUSICAL 71: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	438
EXEMPLE MUSICAL 72: RYTHME 13 « <i>CRESCENDO</i> »	439
EXEMPLE MUSICAL 73: RYTHME 14 « <i>DECRESCENDO</i> »	439
EXEMPLE MUSICAL 74: RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	442
EXEMPLE MUSICAL 75: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	442
EXEMPLE MUSICAL 76: RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	443
EXEMPLE MUSICAL 77: RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	443
EXEMPLE MUSICAL 78: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	444
EXEMPLE MUSICAL 79: RYTHME 8 « TOURNOYER »	444
EXEMPLE MUSICAL 80: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	444
EXEMPLE MUSICAL 81: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	445
EXEMPLE MUSICAL 82: RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	445
EXEMPLE MUSICAL 83: RYTHME 13 « <i>CRESCENDO</i> »	447
EXEMPLE MUSICAL 84: RYTHME 14 « <i>DECRESCENDO</i> »	447
EXEMPLE MUSICAL 85: RYTHME 1 « TROT »	447
EXEMPLE MUSICAL 86: RYTHME 2 « GALOP »	448
EXEMPLE MUSICAL 87: RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	448
EXEMPLE MUSICAL 88: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	448
EXEMPLE MUSICAL 89: RYTHME 4 « SEPT SAUTS »	448
EXEMPLE MUSICAL 90: RYTHME 21 « CYCLE TRONQUE »	449
EXEMPLE MUSICAL 91: RYTHME 18 « CYCLE <i>RALLENTANDO</i> »	449
EXEMPLE MUSICAL 92: RYTHME 16 « <i>RALLENTANDO</i> »	449
EXEMPLE MUSICAL 93: RYTHME 17 « CYCLE <i>ACCELERANDO</i> »	449
EXEMPLE MUSICAL 94: RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	450
EXEMPLE MUSICAL 95: RYTHME 7 « TOURNER EN ACCELERANT »	450
EXEMPLE MUSICAL 96: RYTHME 19 « RETARD FINAL »	450
EXEMPLE MUSICAL 97: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	451
EXEMPLE MUSICAL 98: RYTHME 1 « TROT »	452
EXEMPLE MUSICAL 99: RYTHME 9 " GRAPHISME 1 POINTE"	454
EXEMPLE MUSICAL 100: RYTHME 1 « TROT »	457
EXEMPLE MUSICAL 101: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	457
EXEMPLE MUSICAL 102: RYTHME 6 « TOURNER »	457
EXEMPLE MUSICAL 103: RYTHME 8 « TOURNOYER »	457

EXEMPLE MUSICAL 104: RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	460
EXEMPLE MUSICAL 105: RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	460
EXEMPLE MUSICAL 106: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	460
EXEMPLE MUSICAL 107: RYTHME 6 « TOURNER »	460
EXEMPLE MUSICAL 108: RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	460
EXEMPLE MUSICAL 109: RYTHME 1 « TROT »	460
EXEMPLE MUSICAL 110: RYTHME 20 « SYNCOPE »	462
EXEMPLE MUSICAL 111: RYTHME 21 « CYCLE TRONQUE »	462
EXEMPLE MUSICAL 112: RYTHME 2 « GALOP »	463
EXEMPLE MUSICAL 113: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	464
EXEMPLE MUSICAL 114: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	464
EXEMPLE MUSICAL 115: RYTHME 6 « TOURNER »	464
EXEMPLE MUSICAL 116: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	465
EXEMPLE MUSICAL 117: RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	465
EXEMPLE MUSICAL 118: RYTHME 2 « GALOP »	466
EXEMPLE MUSICAL 119: RYTHME 19 « RETARD FINAL »	466
EXEMPLE MUSICAL 120: RYTHME 1 « TROT »	467
EXEMPLE MUSICAL 121: RYTHME 4 « SEPT SAUTS »	467
EXEMPLE MUSICAL 122: RYTHME 2 « GALOP »	468
EXEMPLE MUSICAL 123: RYTHME 3 « GRAND GALOP »	468
EXEMPLE MUSICAL 124: RYTHME 7 « TOURNER EN ACCELERANT »	469
EXEMPLE MUSICAL 125: RYTHME 17 « CYCLE ACCELERANDO »	469
EXEMPLE MUSICAL 126: RYTHME 15 « ACCELERANDO »	470
EXEMPLE MUSICAL 127: RYTHME 16 « RALLENTANDO »	470
EXEMPLE MUSICAL 128: RYTHME 17 « CYCLE ACCELERANDO »	473
EXEMPLE MUSICAL 129: RYTHME 18 « CYCLE RALLENTANDO »	473
EXEMPLE MUSICAL 130: RYTHME 22 « CYCLE ENRICHİ »	474
EXEMPLE MUSICAL 131: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	474
EXEMPLE MUSICAL 132: RYTHME 22 « CYCLE ENRICHİ »	475
EXEMPLE MUSICAL 133: RYTHME 23 « CYCLE EPURE »	475
EXEMPLE MUSICAL 134: RYTHME 15 « ACCELERANDO »	476
EXEMPLE MUSICAL 135: RYTHME 16 « RALLENTANDO »	476
EXEMPLE MUSICAL 136: RYTHME 24 « DEUX TEMPI 70-140 BPM »	477
EXEMPLE MUSICAL 137: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	478
EXEMPLE MUSICAL 138: RYTHME 19 « RETARD FINAL »	479
EXEMPLE MUSICAL 139: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	486
EXEMPLE MUSICAL 140: RYTHME 1 « TROT »	486
EXEMPLE MUSICAL 141: RYTHME 5 « ELAN-SAUT »	488
EXEMPLE MUSICAL 142: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	488
EXEMPLE MUSICAL 143: RYTHME 14 « DECRESCENDO »	488
EXEMPLE MUSICAL 144: RYTHME 7 « TOURNER EN ACCELERANT »	489
EXEMPLE MUSICAL 145: RYTHME 4 « SEPT SAUTS »	489
EXEMPLE MUSICAL 146: RYTHME 1 « TROT »	490
EXEMPLE MUSICAL 147: RYTHME 13 « CRESCENDO »	490
EXEMPLE MUSICAL 148: RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	490
EXEMPLE MUSICAL 149: RYTHME 15 « ACCELERANDO »	490
EXEMPLE MUSICAL 150: RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	543
EXEMPLE MUSICAL 151: RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	552
EXEMPLE MUSICAL 152: RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE »	560
EXEMPLE MUSICAL 153: RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	570

2 Tableaux

TABLEAU 1: DIFFERENCES SAILLANTES ENTRE RYTHME ET METRE DANS LA MUSIQUE OCCIDENTALE.....	33
TABLEAU 2: FILIATION ENTRE ORDRES DE PHENOMENES DE A. MOCQUEREAU ET LANGAGES RYTHMIQUES DE O. MESSIAEN.....	41
TABLEAU 3: CINETIQUE DE LA MUSIQUE CLASSIQUE : FACTEURS DE STABILITE ET D'INSTABILITE	43
TABLEAU 4: METAPHORE DU "TEMPS EN MOUVEMENT": DE « L'ESPACE » AU « TEMPS »	82
TABLEAU 5: METAPHORE DE "L'OBSERVATEUR EN MOUVEMENT": DE « L'ESPACE » AU « TEMPS »	83
TABLEAU 6: METAPHORE DE "LA MUSIQUE EN MOUVEMENT": DU « MOUVEMENT PHYSIQUE » A LA « MUSIQUE »	85
TABLEAU 7: METAPHORE DU "PAYSAGE MUSICAL » : DE « L'ESPACE PHYSIQUE » A « L'ESPACE MUSICAL »	86
TABLEAU 8: METAPHORE DE LA "FORCE MOTRICE": DU « MOUVEMENT PHYSIQUE » A « L'EXPERIENCE MUSICALE »	87
TABLEAU 9: LIENS ENTRE PARAMETRES MUSICAUX ET MOUVEMENTS CORPORELS IMAGINES PAR L'AUDITEUR, SELON Z. EITAN ET R. Y. GRANOT	110
TABLEAU 10: DOMAINES D'ETUDE DES CORRESPONDANCES MUSICALES, RYTHMIQUES, ET CORPORELLES, GRAPHIQUES	113
TABLEAU 11: RELATIONS ETABLIES ENTRE PROPRIETES MUSICALES ET PROPRIETES DE LA PLASTIQUE ANIMEE.....	114
TABLEAU 12: RELATIONS ENTRE CARACTERISTIQUES MUSICALES ET CARACTERISTIQUES DE MOUVEMENTS DANSES.....	115
TABLEAU 13: RELATIONS ENTRE MOUVEMENTS DE DANSE ET UST	117
TABLEAU 14: RELATIONS ETABLIES PAR L'AUDITEUR ENTRE PROPRIETES MUSICALES ET PROPRIETES DE MOUVEMENTS DE GRANDE MOTRICITE.....	118
TABLEAU 15: MESURES DYNAMO-AGOGIQUES DES TROIS TYPES DE MOUVEMENT NATUREL	129
TABLEAU 16: TRAÇAGE DE SONS : LIENS ENTRE CARACTERISTIQUES SONORES ET GRAPHIQUES	159
TABLEAU 17: RENDU GESTUEL DE PROPRIETES MUSICALES, SELON R. I. GODØY.....	162
TABLEAU 18: LIENS ENTRE PROPRIETES MUSICALES RYTHMIQUES ET PROPRIETES CORPORELLES ET GRAPHIQUES	167
TABLEAU 19: ANALOGIES TEMPORO-SPATIALES DES SOUS-CONCEPTS DU RYTHME, STRUCTURE, PERIODICITE, MOUVEMENT.....	202
TABLEAU 20: ASSOCIATION SCHEMES MOTEURS ET PROPRIETES FORMELLES MUSICALES SELON J. VIRET	226
TABLEAU 21: ASSOCIATIONS MUSIQUE-ARTS PLASTIQUES SELON V. KANDINSKY	231
TABLEAU 22: VALEUR DU TEMPO MOTEUR SPONTANE SELON L'AGE	262
TABLEAU 23: GAMME DE TEMPO MOTEUR SPONTANE SELON L'AGE	263
TABLEAU 24: STRATEGIES DE NOTATION FIGURALE ET METRIQUE	277
TABLEAU 25: TYPOLOGIE DEVELOPPEMENTALE DES NOTATIONS DU RYTHME SELON J. BAMBERGER	278
TABLEAU 26: HYPOTHESES DES RELATIONS ENTRE PROPRIETES COMMUNES AU RYTHME ET AU GRAPHISME	289
TABLEAU 27: HYPOTHESES CONCERNANT LES EFFETS DE PROPRIETES D'INTENSITE ET DE DUREES RYTHMIQUES SUR LES PROPRIETES DYNAMIQUES ET FORMELLES GRAPHIQUES	307
TABLEAU 28: COMPOSITION DU COMPACT DISC DES 24 PATTERNS RYTHMIQUES SUR DARBUKA	317
TABLEAU 29: PROPRIETES DE STRUCTURE DES 24 PATTERNS RYTHMIQUES.....	324
TABLEAU 30: PROPRIETES D'INTENSITE DES 24 PATTERNS RYTHMIQUES	325
TABLEAU 31: PROPRIETES DE TIMBRE DES 24 PATTERNS RYTHMIQUES	326
TABLEAU 32: PROPRIETES LIEES A LA PERIODICITE DES 24 PATTERNS RYTHMIQUES	327
TABLEAU 33: HUIT PROTORYTHMES AVEC LEUR PROPRIETE CARACTERISTIQUE	327
TABLEAU 34: PROPRIETES CARACTERISTIQUES DES 24 PATTERNS RYTHMIQUES PERCUSSIFS	328
TABLEAU 35: LISTE ET CODAGE DES 33 SUJETS DE L'EXPERIENCE	336
TABLEAU 36: REPARTITION DES 33 SUJETS EN AGE ET EN GENRE.....	337
TABLEAU 37: DONNEES NUMERIQUES GRAPHIQUES ENREGISTREES SUR ORDINATEUR	340
TABLEAU 38: CODAGE DE L'EVOLUTION DE LA VITESSE GRAPHIQUE	342
TABLEAU 39: RECODAGE DES PRINCIPALES CATEGORIES DE VITESSE GRAPHIQUE.....	343
TABLEAU 40: CODAGE DE MESURE DE VITESSE GRAPHIQUE.....	343
TABLEAU 41: FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SIMPLES	343
TABLEAU 42: RECODAGE DES FORMES GRAPHIQUES SELON LEUR PERIODICITE	344
TABLEAU 43: EVOLUTION DE LA FORME DURANT LA PRODUCTION GRAPHIQUE	344
TABLEAU 44: TAILLE DU GRAPHISME.....	344
TABLEAU 45: EVOLUTION TEMPORELLE DE LA TAILLE	344
TABLEAU 46: TRAITEMENT DE L'ESPACE GRAPHIQUE	345
TABLEAU 47: JONCTION/DISJONCTION DU GRAPHISME	345
TABLEAU 48: CONTINUE/DISCONTINUE DU GRAPHISME	345
TABLEAU 49: CODAGE DE LA SYNCHRONISATION DU GRAPHISME AVEC LE SON.....	345

TABLEAU 50: RECODAGE DES PRINCIPALES CATEGORIES DE SYNCHRONISATION	346
TABLEAU 51: ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION GRAPHIQUE	346
TABLEAU 52: RECODAGE DES PRINCIPAUX ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION GRAPHIQUE.....	346
TABLEAU 53: APERÇUS DE LA BASE DE DONNEES EXCEL RENSEIGNEE SELON LES PROPRIETES FORMELLES ET DYNAMIQUES DU GRAPHISME, PAR RYTHME ET PAR ENFANT	347
TABLEAU 54: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R1 A R4.....	349
TABLEAU 55: TABLEAU DE CALCUL DE LA VITESSE GRAPHIQUE	357
TABLEAU 56: FEUILLE DE CALCUL DE VITESSE DU TRAÇAGE SUR LE RYTHME 1 PAR L'ENFANT F04VF.....	364
TABLEAU 57: CATEGORIES DE CODAGE DE PRODUCTIONS PAR SEUIL DE VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE PERÇUE DANS LA BASE DE DONNEES EXCEL	368
TABLEAU 58: FEUILLE DE CALCUL EXCEL DE LA VITESSE GRAPHIQUE DE L'ENFANT R3F06LZ	416
TABLEAU 59: FEUILLE DE CALCUL EXCEL DE LA VITESSE GRAPHIQUE DE L'ENFANT R3F06LZ	421
TABLEAU 60: HYPOTHESES SUR L'EFFET DE PROPRIETES D'INTENSITE DES RYTHMES SUR LE GRAPHISME.....	436
TABLEAU 61: PROPRIETES DYNAMO-AGOGIQUES DES RYTHMES 5, 10, 11 ET 12	438
TABLEAU 62: BILAN DES EFFETS DE L'INTENSITE ABSOLUE SUR LE GRAPHISME	439
TABLEAU 63: BILAN DES EFFETS DE VARIATIONS CONTINUES DE L'INTENSITE SUR LE GRAPHISME	441
TABLEAU 64: BILAN DES EFFETS DE L'INTENSIFICATION DES FRAPPES PAR EFFET D'ACCENT SUR LE GRAPHISME.....	446
TABLEAU 65: HYPOTHESES SUR L'EFFET DE L'ORGANISATION DES DUREES DU RYTHME SUR LE GRAPHISME.....	459
TABLEAU 66: FREQUENCE DE FRAPPES DECREISSANTE DES RYTHMES 10, 12, 5, 6, 9, 1.....	459
TABLEAU 67: BILAN DES EFFETS D'INTERVALLES ENTRE FRAPPES COURTS <i>VERSUS</i> LONGS SUR LE GRAPHISME	461
TABLEAU 68: BILAN DES EFFETS DE L'IRREGULARITE <i>VERSUS</i> DE LA REGULARITE DE LA STRUCTURE RYTHMIQUE SUR LE GRAPHISME ..	464
TABLEAU 69: BILAN DES EFFETS DE GROUPEMENTS RYTHMIQUES SUR LE GRAPHISME	467
TABLEAU 70: BILAN DES EFFETS D'UN TEMPO MODERE OU RAPIDE SUR LE GRAPHISME	469
TABLEAU 71: BILAN DES EFFETS DE LA VARIATION DU TEMPO SUR LE GRAPHISME	479
TABLEAU 72: BILAN DES EFFETS DU RETARD FINAL SUR LE GRAPHISME	480
TABLEAU 73: BILAN DES EFFETS DE PROPRIETES RYTHMIQUES D'INTENSITE SUR LE GRAPHISME	481
TABLEAU 74: BILAN DES EFFETS DE PROPRIETES RYTHMIQUES DE TIMBRE DES FRAPPES SUR LE GRAPHISME.....	481
TABLEAU 75: BILAN DES EFFETS DE PROPRIETES RYTHMIQUES DE DUREES SUR LE GRAPHISM.....	482
TABLEAU 76: CALCUL DU DELAI DE DEMARRAGE GRAPHIQUE	485
TABLEAU 77: PROPRIETES DES RYTHMES LES PLUS INDUCTEURS DE MOUVEMENT	488
TABLEAU 78: PROPRIETES DES RYTHMES LES MOINS INDUCTEURS DE MOUVEMENT	489
TABLEAU 79: DELAIS DE REACTIONS GRAPHIQUES ET PROPRIETES DYNAMIQUES DE R14 <i>DECRESCENDO</i> ET R13 <i>CRESCENDO</i>	491
TABLEAU 80: DELAIS DE REACTIONS GRAPHIQUES ET FREQUENCE DE FRAPPES DE R16 <i>RALLENTANDO</i> ET R15 <i>ACCELERANDO</i>	491
TABLEAU 81: DELAIS DE REACTIONS GRAPHIQUES ET FREQUENCE DE FRAPPES DE R18 <i>CYCLE RALLENTANDO</i> ET R17 <i>CYCLE</i> <i>ACCELERANDO</i>	491
TABLEAU 82: PROPRIETES DYNAMO-AGOGIQUES DES RYTHMES R5, R14, R18, R16, R17, R15 ET R13 DANS L'ORDRE DECREISSANT D'INCITATION MOTRICE	492
TABLEAU 83: PROPRIETES DYNAMO-AGOGIQUES DES RYTHMES 5, 16, 12, 19 ET 6, DANS L'ORDRE DECREISSANT DE REACTIONS GRAPHIQUES INITIALES VIVES	504
TABLEAU 84: APTITUDE A LA SYNCHRONISATION SUIVANT LA METHODE D'ANALYSE AUDIOVISUELLE ET LA METHODE DE CALCUL.....	536
TABLEAU 85: ETAPES DE L'EXPERIENCE DE TRANSDUCTION D'INFORMATIONS DE VITESSE	540
TABLEAU 86: COMPARAISON DES PROFILS TEMPORELS DU GRAPHISME ORIGINEL « ARCHE », DU RYTHME 11 « GRAPHISME ALPHA » ET DU GRAPHISME RESULTANT DE L'ENFANT GASPARD.....	541
TABLEAU 87: VALEURS MOYENNES DE LA VITESSE DE TRAÇAGE DES GRAPHISMES RESULTANT DE L'ECOUTE DU RYTHME 9.....	550
TABLEAU 88: TYPES DE PROFIL TEMPOREL ET VALEUR DE VITESSE DE TRAÇAGE PRODUITS SUR LE RYTHME 10.....	558
TABLEAU 89: TYPES DE PROFILS ET VALEUR DE VITESSE DE TRAÇAGE SUR LE RYTHME 11	567
TABLEAU 90 : SUJETS DONT LA VITESSE DU GRAPHISME EST CORRELEE A LA VITESSE GRAPHIQUE ORIGINELLE	578
TABLEAU 91: BILAN DES EFFETS DE PROPRIETES RYTHMIQUES SUR LE GRAPHISME	580
TABLEAU 92: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R1 A R4.....	594
TABLEAU 93: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R5 A R8.....	596
TABLEAU 94: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R9 A R12.....	598
TABLEAU 95: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R13 ET R14.....	600
TABLEAU 96: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R15 A R18.....	602
TABLEAU 97: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R19 A R21.....	604
TABLEAU 98: RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES RYTHMES R22 A R24.....	606
TABLEAU 99: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.1) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE A L'INSTANT DES FRAPPES. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	635

TABLEAU 100: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.2) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE A L'INSTANT DES FRAPPES. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	636
TABLEAU 101: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.3) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE A L'INSTANT DES FRAPPES. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	636
TABLEAU 102: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.4) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE A L'INSTANT DES FRAPPES. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	637
TABLEAU 103: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES VARIATIONS D'INTENSITE 'ABSOLUE' (R5, R12, R11, R10)	648
TABLEAU 104: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES VARIATIONS D'INTENSITE 'ABSOLUE' (R5, R10)	650
TABLEAU 105: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES VARIATIONS D'INTENSITE (R13, R14).....	652
TABLEAU 106: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES VARIATIONS D'INTENSITE (R10, R11).....	654
TABLEAU 107: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT L'ACCENTUATION DES FRAPPES (R10, R12, R11, R5, R8)	656
TABLEAU 108: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT L'ALTERNANCE DE TIMBRES (R1).....	658
TABLEAU 109: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES VARIATIONS DE TIMBRE (R9).....	660
TABLEAU 110: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT L'EFFET DE GROUPEMENT PAR EFFET DE TIMBRES (R1, R3, R6, R8).....	662
TABLEAU 111: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES IOI COURTS (R10, R12, R5, R6) <i>VERSUS</i> LONGS (R9, R1)	664
TABLEAU 112: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES IRREGULARITES DE/DANS LA STRUCTURE (R20, R21) <i>VERSUS</i> REGULARITE DE STRUCTURE (R2, R3, R5, R6).....	666
TABLEAU 113: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LE GROUPEMENT RYTHMIQUE PAR EFFET DE PAUSE (R5, R9).....	668
TABLEAU 114: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LE GROUPEMENT PAR EFFET DE PAUSE COMPARE A GROUPEMENT PAR EFFET DE TIMBRE (R2, R19).....	670
TABLEAU 115: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LE TEMPO, DE <i>LENTO</i> A <i>PRESTO</i> (R1, R4, R2, R3)	672
TABLEAU 116: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT DES TEMPI ACCELERANT <i>VERSUS</i> DECELERANT (R7, R17, R18)	674
TABLEAU 117: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT DES TEMPI <i>ACCELERANDO</i> <i>VERSUS</i> <i>RALLENTANDO</i> (R15, R16)	676
TABLEAU 118: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES VARIATIONS D'IOI CROISSANTS/DECROISSANTS REGULIEREMENT (R15 <i>VERSUS</i> R16) OU IRREGULIEREMENT (R22 <i>VERSUS</i> R23).....	678
TABLEAU 119: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT DEUX TEMPI SUCCESSIFS (R24).....	680
TABLEAU 120: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LES VARIATIONS D'IOI DECROISSANTS ET DECROISSANTS (R11).....	682
TABLEAU 121: DONNEES GRAPHIQUES SUIVANT LE RETARD FINAL (R19)	684

3 Figures

FIGURE 1: SCHEMA DU CONCEPT DE RYTHME SELON P. SAUVANET.....	23
FIGURE 2: TYPES DE REPRESENTATION DU MOUVEMENT EN PHYSIQUE	53
FIGURE 3: HUIT PAIRES DE STIMULI MUSICAUX	109
FIGURE 4: COURBES DE MOUVEMENT UTILISEES PAR E. SIEVERS	120
FIGURE 5: INTERPRETATION CINEMATIQUE PAR E. SIEVERS DE LA PREMIERE STROPHE DU POEME <i>DIE NACHT AM STRANDE</i> D'H. HEINE	121
FIGURE 6: COURBES CARACTERISTIQUES DE COMPOSITEURS SELON G. BECKING.....	122
FIGURE 7: COURBES DE MOUVEMENTS MUSICAUX TYPES SELON A. TRUSLIT.....	128
FIGURE 8: NEUF VARIATIONS SUR UN ARPEGE ET COURBES DE MOUVEMENTS CORRESPONDANTES.....	130
FIGURE 9: INTERPRETATION CINEMATIQUE PAR A. TRUSLIT DE LA PREMIERE SECTION DE LA RHAPSODIE EN SOL MINEUR OP. 79, N°2, DE J. BRAHMS.....	133
FIGURE 10: RECONNAISSANCE DU MOUVEMENT ORIGINEL DE LA MUSIQUE PAR UN AUDITEUR	137
FIGURE 11: FRAGMENT 1 : EXTRAIT DE <i>GIRATION</i> , DIVERTISSEMENT CHOREGRAPHIQUE DE G. PIERNE	141
FIGURE 12: DESSINS DE FORMES DE MOUVEMENT SUSCITEES PAR L'AUDITION DE SCHEMES CINETIQUES SALTATOIRES	142
FIGURE 13: FRAGMENT 2 : EXTRAIT DE <i>GIRATION, LA TOUPIE</i> , DE G. PIERNE	142
FIGURE 14: DESSINS DE FORMES DE MOUVEMENT SUSCITEES PAR L'AUDITION DE SCHEMES CINETIQUES GIRATOIRES	143
FIGURE 15: FRAGMENT 3 : EXTRAIT DE <i>PETITE SUITE, EN BATEAU</i> , DE C. DEBUSSY	143
FIGURE 16: DESSINS DE FORMES DE MOUVEMENT SUSCITEES PAR L'AUDITION DE SCHEMES CINETIQUES ONDULATOIRES	144
FIGURE 17: FRAGMENT 4 : EXTRAIT D' <i>IMAGES, MOUVEMENT</i> , DE C. DEBUSSY	144
FIGURE 18: DESSINS DE FORMES DE MOUVEMENT SUSCITEES PAR L'AUDITION DE SCHEMES CINETIQUES GIRATOIRES ET SALTATOIRES	145
FIGURE 19: LE SENTOGRAPHE DE M. CLYNES, APPAREIL DE MESURE DES FORMES EXPRESSIVES DYNAMIQUES	149
FIGURE 20: FORMES ESSENTIQUES, REPONSES MOYENNES DU SENTOGRAPHE PAR DES MUSICIENS D'EXCEPTION.....	150
FIGURE 21: REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DU RYTHME D'UN EXTRAIT MUSICAL PAR DES ENFANTS AUTISTES (AS) COMPARE A UN GROUPE TEMOIN (C)	155
FIGURE 22: FORMES BIDIMENSIONNELLES DES MOUVEMENTS DU BRAS EN REPONSE A UN STIMULUS MUSICAL.....	156
FIGURE 23: TRAÇAGES D'UN SON DE CYMBALE PAR 9 SUJETS, SELON A. R. JENSENIUS	158
FIGURE 24: CAPTURE DES MOUVEMENTS DE BAGUETTE DE L'AUDITEUR	160
FIGURE 25: REDUCTION EN DEUX DIMENSIONS DES MOUVEMENTS DE BAGUETTE DE L'AUDITEUR	160
FIGURE 26: CAPTURE DU MOUVEMENT D'UNE POIGNEE ELECTRONIQUE.....	163
FIGURE 27: SUSPENSION PUIS BASCULEMENT AVEC ACCELERATION (UST <i>CHUTE</i>) J. MANDELBRODT	229
FIGURE 28: POINT D'APPUI SUIVI D'UNE ACCELERATION DYNAMIQUE (UST <i>ELAN</i>) J. MANDELBRODT	229
FIGURE 29: EFFET DE COMPRESSION PUIS DE DETENTE (UST <i>CONTRACTE-ETENDU</i>) J. MANDELBRODT.....	229
FIGURE 30: UST <i>QUI TOURNE</i> , ENCRE DE J. MANDELBRODT.....	230
FIGURE 31: REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES UST DE TYPE INVARIANT (A GAUCHE) ET VARIANT (A DROITE)	231
FIGURE 32: FORMES FONDAMENTALES DE TRACES PREFIGURATIVES SELON R. KELLOGG	270
FIGURE 33: H. YAMMINE DURANT LA RECHERCHE SONORE A PARTIR DE SCHEMES GRAPHIQUES ELEMENTAIRES.....	315
FIGURE 34: M. SOUCHET DURANT LA RECHERCHE SONORE A PARTIR DE SCHEMES GRAPHIQUES ELEMENTAIRES.....	315
FIGURE 35: STYLO ELECTRONIQUE LIVESCRIBE	330
FIGURE 36: DEMARRAGE ET ARRET DE L'ENREGISTREMENT GRAPHIQUE ET AUDIO DU STYLO	331
FIGURE 37: CAHIER NUMERIQUE A4.....	331
FIGURE 38: TRANSFERT DE DONNEES DU STYLO VERS L'ORDINATEUR	332
FIGURE 39: : REPARTITION PAR MOIS DE NAISSANCE ET PAR GENRE DES 33 SUJETS DE L'EXPERIENCE	336
FIGURE 40: NOMBRE DE PRODUCTIONS AVEC VITESSE GRAPHIQUE ELEVEE (>50 CM/S) PAR RYTHME	350
FIGURE 41: NOMBRE DE PRODUCTION AVEC VITESSE GRAPHIQUE ELEVEE PAR ENFANT	350
FIGURE 42: SONAGRAMME DU RYTHME 1 "TROT" (FREQUENCE (Hz) / TEMPS (s))	354
FIGURE 43: PROFIL TEMPOREL DE LOUDNESS DE L'AUDIO ET ONSETS DU RYTHME 1 « TROT »	354
FIGURE 44: PROFIL TEMPOREL DE LA FREQUENCE DE FRAPPES DU RYTHME 1 "TROT".....	355
FIGURE 45: SONAGRAMME DU RYTHME 24 « TEMPI 70-140 BPM » (FREQUENCE (Hz) / TEMPS (s)).....	355
FIGURE 46: PROFIL TEMPOREL DE LOUDNESS DE L'AUDIO ET ONSETS DU RYTHME 24 « TEMPI 70-140 BPM »	356
FIGURE 47: PROFIL TEMPOREL DE LA FREQUENCE DE FRAPPES DU RYTHME 24 « TEMPI 70-140 BPM »	356
FIGURE 48: TRACE GRAPHIQUE SUR PAPIER DU RYTHME R1 PAR L'ENFANT F04VF	358

FIGURE 49: TRAJECTOIRE GRAPHIQUE NUMERISEE EFFECTUEE SUR LE RYTHME 1 « TROT » PAR L'ENFANT F04VF.....	364
FIGURE 50: GRAPHIQUE D'EVOLUTION DE LA VITESSE DU TRAÇAGE EFFECTUEE SUR LE RYTHME 1 PAR L'ENFANT F04VF	365
FIGURE 51: GRAPHE DE CORRELATION VITESSE ET INTENSITE, SANS FILTRE, ENFANT F09HN ET RYTHME 13 <i>CRESCENDO</i>	366
FIGURE 52: GRAPHE DE CORRELATION VITESSE ET INTENSITE, AVEC FILTRE PASSE-HAUT, ENFANT F09HN ET RYTHME 13 <i>CRESCENDO</i>	366
FIGURE 53: GRAPHE DE CORRELATION VITESSE ET INTENSITE A L'INSTANT DES FRAPPES, AVEC FILTRE PASSE-HAUT, ENFANT F09HN ET RYTHME 13 <i>CRESCENDO</i>	367
FIGURE 54: GRAPHE DE CORRELATION VITESSE ET INTENSITE A L'INSTANT DES FRAPPES, AVEC FILTRE PASSE-HAUT, ENFANT F09HN ET RYTHME 13 <i>CRESCENDO</i>	367
FIGURE 55: REPERTOIRE DES PRINCIPALES FORMES GRAPHIQUES SIMPLES.....	372
FIGURE 56: FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SELON LE GENRE DES SUJETS	376
FIGURE 57: FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SELON L'AGE DES SUJETS	377
FIGURE 58: FAMILLES DE FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SIMPLES	377
FIGURE 59: FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SIMPLES SELON LE GENRE DES SUJETS.....	378
FIGURE 60: FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SIMPLES SELON L'AGE DES SUJETS	378
FIGURE 61: FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES PERIODIQUES PAR RYTHME	379
FIGURE 62: FORMES GRAPHIQUES PERIODIQUES CONTINUES PAR RYTHME.....	380
FIGURE 63: FORMES GRAPHIQUES PERIODIQUES DISCONTINUES PAR RYTHME.....	381
FIGURE 64: FORMES GRAPHIQUES PERIODIQUES DISJOINTES PAR RYTHME	381
FIGURE 65: FORMES GRAPHIQUES APERIODIQUES PAR RYTHME	382
FIGURE 66: VARIETE DES FORMES GRAPHIQUES SUCCESSIVES DURANT LA PRODUCTION	383
FIGURE 67: VARIETE DES FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SUCCESSIVES PAR PRODUCTION, SELON LE GENRE DES SUJETS	384
FIGURE 68: VARIETE DES FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES SUCCESSIVES PAR PRODUCTION, SELON L'AGE DES SUJETS	384
FIGURE 69: VARIETE DES FORMES GRAPHIQUES DOMINANTES PAR PRODUCTION.....	385
FIGURE 70: VARIETE DE LA TAILLE DU GRAPHISME	385
FIGURE 71: TAILLE DU GRAPHISME SELON LE GENRE DES SUJETS	387
FIGURE 72: TAILLE DU GRAPHISME SELON L'AGE DES SUJETS	387
FIGURE 73: TAILLE DU GRAPHISME PAR RYTHME.....	388
FIGURE 74: GRAPHISME DE GRANDE TAILLE, PAR RYTHME	388
FIGURE 75: EVOLUTION DE LA TAILLE DU GRAPHISME DURANT LA PRODUCTION	389
FIGURE 76: EVOLUTION DE LA TAILLE DU GRAPHISME DURANT LA PRODUCTION SELON LE GENRE DES SUJETS	390
FIGURE 77: EVOLUTION DE LA TAILLE DU GRAPHISME DURANT LA PRODUCTION SELON L'AGE DES SUJETS	390
FIGURE 78: EVOLUTION DE LA TAILLE DU GRAPHISME PAR RYTHME.....	391
FIGURE 79: TAILLE GRAPHIQUE REGULIERE DURANT LA PRODUCTION, PAR RYTHME	391
FIGURE 80: GRAPHISME DE TAILLE CROISSANTE DURANT LA PRODUCTION, PAR RYTHME	392
FIGURE 81: GRAPHISME DE TAILLE DECCROISSANTE DURANT LA PRODUCTION, PAR RYTHME	392
FIGURE 82: TRAITEMENT DE L'ESPACE GRAPHIQUE	393
FIGURE 83: TRAITEMENT DE L'ESPACE GRAPHIQUE SELON LE GENRE DES SUJETS.....	394
FIGURE 84: TRAITEMENT DE L'ESPACE GRAPHIQUE SELON L'AGE DES SUJETS	395
FIGURE 85: TRAITEMENT DE L'ESPACE GRAPHIQUE PAR RYTHME.....	395
FIGURE 86: GRAPHISME DIFFUS DURANT LA PRODUCTION, PAR RYTHME	396
FIGURE 87: CONTINUTE DU TRAÇAGE GRAPHIQUE.....	396
FIGURE 88: CONTINUTE DU TRAÇAGE SELON LE GENRE DES SUJETS	398
FIGURE 89: CONTINUTE DU TRAÇAGE SELON L'AGE DES SUJETS.....	399
FIGURE 90: CONTINUTE OU DISCONTINUTE DU TRAÇAGE PAR RYTHME	399
FIGURE 91: TRAÇAGE CONTINU PUIS DISCONTINU OU INVERSEMENT, PAR RYTHME.....	400
FIGURE 92: PRODUCTIONS AVEC GRAPHISMES JOINTS OU DISJOINTS.....	401
FIGURE 93: GRAPHISMES JOINTS OU DISJOINTS, SELON LE GENRE DES SUJETS	403
FIGURE 94: GRAPHISMES JOINTS OU DISJOINTS, SELON L'AGE DES SUJETS	403
FIGURE 95: GRAPHISMES JOINTS OU DISJOINTS PAR RYTHME	404
FIGURE 96: EVOLUTION DE LA VITESSE DURANT LA PRODUCTION GRAPHIQUE	405
FIGURE 97: PRINCIPAUX TYPES D'EVOLUTION DE LA VITESSE GRAPHIQUE	406
FIGURE 98: PATTERNS CINETIQUES GRAPHIQUES PAR RYTHME.....	406
FIGURE 99: VITESSE GRAPHIQUE IRRÉGULIERE, PAR RYTHME	407
FIGURE 100: VITESSE GRAPHIQUE ELEVÉE, PAR RYTHME	408
FIGURE 101: ACCELERATION OU DECELERATION GRAPHIQUE, PAR RYTHME.....	408
FIGURE 102: EVOLUTION DE LA VITESSE DURANT LA PRODUCTION GRAPHIQUE SELON LE GENRE DES SUJETS	409

FIGURE 103: EVOLUTION DE LA VITESSE DURANT LA PRODUCTION GRAPHIQUE SELON L'AGE DES SUJETS	409
FIGURE 104: VITESSE ELEVEE, ACCELERATION ET ERREUR DE MESURE DE VITESSE, PAR RYTHME.....	422
FIGURE 105: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE GRAPHIQUE PAR RYTHME	423
FIGURE 106: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE LIEE A UNE VITESSE GRAPHIQUE ELEVEE ET TOTAL DES PRODUCTIONS AVEC ERREUR DE CALCUL, PAR RYTHME	424
FIGURE 107: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE LIEE A UNE VITESSE GRAPHIQUE ELEVEE ET TOTAL DES PRODUCTIONS AVEC ERREUR DE CALCUL, PAR RYTHME	425
FIGURE 108: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE EN DEBUT, MILIEU, FIN DE PRODUCTION GRAPHIQUE.....	425
FIGURE 109: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE LIEE A UNE VITESSE ELEVEE EN DEBUT, MILIEU, FIN DE PRODUCTION, PAR RYTHME.....	426
FIGURE 110: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE LIEE A UNE FORTE ACCELERATION EN DEBUT, MILIEU, FIN DE PRODUCTION, PAR RYTHME	428
FIGURE 111: PRODUCTIONS GRAPHIQUES AVEC CALCUL DE VITESSE VALIDE OU NON SELON LE GENRE DES SUJETS	429
FIGURE 112: PRODUCTIONS GRAPHIQUES AVEC CALCUL DE VITESSE VALIDE OU NON SELON L'AGE DES SUJETS.....	429
FIGURE 113: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE GRAPHIQUE AU DEBUT, MILIEU, FIN DE PRODUCTIONS, SELON LE GENRE DES SUJETS ...	430
FIGURE 114: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE GRAPHIQUE AU DEBUT, MILIEU, FIN DE PRODUCTIONS, SELON L'AGE DES SUJETS	430
FIGURE 115: PRODUCTIONS GRAPHIQUES AVEC VITESSE ELEVEE ET ERREUR DE CALCUL DE VITESSE, SELON LES SUJETS.....	431
FIGURE 116: ERREUR DE CALCUL DE VITESSE GRAPHIQUE EN DEBUT, MILIEU, FIN DE PRODUCTION, SELON LES SUJETS.....	431
FIGURE 117: PRODUCTIONS GRAPHIQUES AVEC ACCELERATION ET ERREUR DE CALCUL DE VITESSE, SELON LES SUJETS	432
FIGURE 118: DELAI MOYEN DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE PAR RYTHME	487
FIGURE 119: DELAI MOYEN DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE PAR ENFANT	493
FIGURE 120: DELAI MOYEN DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE SELON LE GENRE ET L'AGE DES SUJETS	494
FIGURE 121: DELAI MOYEN DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE SELON LE MOIS DE NAISSANCE	494
FIGURE 122: DELAIS MOYENS CROISSANTS DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE, SELON LA PERIODE DE NAISSANCE.....	495
FIGURE 123: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT F07CL PAR RYTHME	496
FIGURE 124: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT F04CKB PAR RYTHME	497
FIGURE 125: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT F09KP PAR RYTHME.....	498
FIGURE 126: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT G02CT PAR RYTHME	499
FIGURE 127: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT F04VF PAR RYTHME.....	499
FIGURE 128: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT F05AB PAR RYTHME	500
FIGURE 129: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT G12JFC PAR RYTHME	501
FIGURE 130: DELAI DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE DE L'ENFANT F04BD PAR RYTHME	501
FIGURE 131: MESURE DE LA VITESSE GRAPHIQUE : CALCULS VALIDES OU NON	502
FIGURE 132: PROBLEME DE CALCUL DE LA VITESSE GRAPHIQUE EN DEBUT, MILIEU, FIN DE PRODUCTION.....	503
FIGURE 133: ERREUR DE CALCUL DE LA VITESSE GRAPHIQUE EN DEBUT DE PRODUCTION SELON LES RYTHMES	503
FIGURE 134: ERREUR DE CALCUL DE LA VITESSE GRAPHIQUE EN DEBUT DE PRODUCTION SELON LE GENRE DES SUJETS.....	504
FIGURE 135: ERREUR DE CALCUL DE LA VITESSE GRAPHIQUE EN DEBUT DE PRODUCTION SELON L'AGE DES SUJETS.....	505
FIGURE 136: ERREUR DE CALCUL DE LA VITESSE GRAPHIQUE EN DEBUT DE PRODUCTION SELON LES SUJETS.....	505
FIGURE 137: VITESSE GRAPHIQUE ELEVEE EN DEBUT DE TRAÇAGE DES 4 SUJETS LES PLUS REACTIFS, SELON LES RYTHMES	506
FIGURE 138: DEGRE DE SYNCHRONISATION DU GRAPHISME AVEC LE SON	508
FIGURE 139: SYNCHRONISATION EXACTE OU APPROXIMATIVE AVEC LE SON, SELON LE RYTHME.....	509
FIGURE 140: ASYNCHRONIE DU GRAPHISME AVEC LE SON, SELON LE RYTHME.....	510
FIGURE 141: EVOLUTION DE LA SYNCHRONISATION GRAPHIQUE DURANT LE RYTHME	511
FIGURE 142: ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION GRAPHIQUE	513
FIGURE 143: ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION GRAPHIQUE INSTABLES, SELON LE RYTHME	514
FIGURE 144: PRINCIPAUX ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION GRAPHIQUE.....	514
FIGURE 145: ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION GRAPHIQUE SELON LE RYTHME.....	515
FIGURE 146: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC LA PULSATION SELON LE RYTHME.....	516
FIGURE 147: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC LA DEMI-PULSATION SELON LE RYTHME	517
FIGURE 148: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC UNE PULSATION PUIS UNE DEMI-PULSATION, SELON LE RYTHME	518
FIGURE 149: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC LES FRAPPES, SELON LE RYTHME	519
FIGURE 150: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC LA FREQUENCE DE FRAPPES, SELON LE RYTHME	520
FIGURE 151: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE EN TOUT OU PARTIE AVEC LA FREQUENCE DE FRAPPES, SELON LE RYTHME.....	520
FIGURE 152: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE EN TOUT OU PARTIE AVEC LA FREQUENCE DE FRAPPES, SELON LE RYTHME.....	521
FIGURE 153: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC L'INTENSITE, SELON LE RYTHME.....	522
FIGURE 154: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE EN TOUT OU PARTIE AVEC L'INTENSITE, SELON LE RYTHME.....	522
FIGURE 155: PRODUCTIONS GRAPHIQUES SYNCHRONES OU ASYNCHRONES PAR ENFANT	523
FIGURE 156: DEGRE DE SYNCHRONISATION AVEC LE RYTHME SELON LE GENRE DES SUJETS	524

FIGURE 157: SYNCHRONISATION AVEC LE RYTHME, SELON L'AGE DES SUJETS.....	524
FIGURE 158: PRODUCTIONS SYNCHRONES OU ASYNCHRONES SELON LES SUJETS	525
FIGURE 159: PRODUCTIONS EXACTEMENT OU APPROXIMATIVEMENT SYNCHRONES SELON LES SUJETS.....	526
FIGURE 160: EVOLUTION DE LA SYNCHRONISATION EN COURS D'ITEM SELON LES SUJETS	526
FIGURE 161: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC LA PULSATION OU LES FRAPPES SELON LES SUJETS	527
FIGURE 162: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC LA PULSATION OU LES FRAPPES SELON LES SUJETS	528
FIGURE 163: SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC L'INTENSITE, SELON LES SUJETS	528
FIGURE 164: SYNCHRONISATION AVEC DEUX ELEMENTS RYTHMIQUES SUCCESSIFS, SELON LES SUJETS.....	529
FIGURE 165: PRINCIPAUX ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION SELON LE GENRE DES SUJETS	529
FIGURE 166: PRINCIPAUX ELEMENTS RYTHMIQUES DE SYNCHRONISATION SELON L'AGE DES SUJETS	530
FIGURE 167: TAUX DE CORRELATION ENTRE VITESSE DU TRAÇAGE GRAPHIQUE ET INTENSITE DU RYTHME, SELON LE GENRE DES SUJETS	531
FIGURE 168: TAUX DE CORRELATION ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE PERÇUE, SELON L'AGE DES SUJETS	531
FIGURE 169: GRAPHE DE CORRELATION DE LA VITESSE DE TRAÇAGE ET DE L'INTENSITE DU RYTHME, ENFANT F09HN, RYTHME 13 <i>CRESCENDO</i>	532
FIGURE 170: GRAPHE DE CORRELATION DE LA VITESSE DE TRAÇAGE ET DE L'INTENSITE DU RYTHME, ENFANT G08AR, RYTHME 13 <i>CRESCENDO</i>	533
FIGURE 171: GRAPHE DE CORRELATION DE LA VITESSE DE TRAÇAGE ET DE L'INTENSITE DU RYTHME, ENFANT F09HN, RYTHME 19 RETARD FINAL	533
FIGURE 172: GRAPHE DE CORRELATION DE LA VITESSE DE TRAÇAGE ET DE L'INTENSITE DU RYTHME, ENFANT G08AR, RYTHME 19 RETARD FINAL	534
FIGURE 173: GRAPHE DE CORRELATION DE LA VITESSE DE TRAÇAGE ET DE L'INTENSITE DU RYTHME, ENFANT F09HN, RYTHME 12 GRAPHISME 4 ALPHA	534
FIGURE 174: GRAPHE DE CORRELATION DE LA VITESSE DE TRAÇAGE ET DE L'INTENSITE DU RYTHME, ENFANT G08AR, RYTHME 12 GRAPHISME 4 ALPHA	535
FIGURE 175: VALEUR DE CORRELATION MAXIMALE DE LA VITESSE DE TRAÇAGE ET DE L'INTENSITE DU RYTHME, PAR ENFANT	535
FIGURE 176: TRAJECTOIRE NUMERISEE DU GRAPHISME ORIGINEL « POINTE ».....	542
FIGURE 177: PROFIL TEMPOREL DE LA VITESSE DE TRAÇAGE DU GRAPHISME ORIGINEL « POINTE »	542
FIGURE 178: PROFIL TEMPOREL D'INTENSITE PERÇUE DU RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	543
FIGURE 179: PROFIL TEMPOREL DE FREQUENCE DE FRAPPES DU RYTHME 9 « GRAPHISME 1 POINTE »	543
FIGURE 180: TRAJECTOIRE DU GRAPHISME ORIGINEL « BOUCLE »	551
FIGURE 181: PROFIL TEMPOREL DE LA VITESSE DE TRAÇAGE DU GRAPHISME ORIGINEL « BOUCLE ».....	551
FIGURE 182: PROFIL TEMPOREL D'INTENSITE DU RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	552
FIGURE 183: PROFIL TEMPOREL DE LA FREQUENCE DE FRAPPES DU RYTHME 10 « GRAPHISME 2 BOUCLE »	553
FIGURE 184: TRAJECTOIRE DU GRAPHISME ORIGINEL « ARCHE »	559
FIGURE 185: PROFIL TEMPOREL DE VITESSE DE TRAÇAGE DU GRAPHISME ORIGINEL « ARCHE »	560
FIGURE 186: PROFIL TEMPOREL D'INTENSITE DU RYTHME 11 « GRAPHISME 3 ARCHE ».....	561
FIGURE 187: PROFIL TEMPOREL DE LA FREQUENCE DE FRAPPES DU RYTHME 11 « GRAPHISME ARCHE ».....	561
FIGURE 188: TRAJECTOIRE DU GRAPHISME SUR LE RYTHME 11 ARCHE GRAPHIQUE DE L'ENFANT GASPARD	562
FIGURE 189: PROFIL TEMPOREL DE LA VITESSE DE TRAÇAGE SUR LE RYTHME 11 DU SUJET GASPARD	562
FIGURE 190: TRAJECTOIRE DU GRAPHISME ORIGINEL «ALPHA »	569
FIGURE 191: PROFIL TEMPOREL DE LA VITESSE DE TRAÇAGE DU GRAPHISME ORIGINEL « ALPHA »	569
FIGURE 192: PROFIL TEMPOREL D'INTENSITE DU RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	570
FIGURE 193: PROFIL TEMPOREL DE FREQUENCE DE FRAPPES DU RYTHME 12 « GRAPHISME 4 ALPHA »	571
FIGURE 194: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.1) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE PERÇUE. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	685
FIGURE 195: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.2) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE PERÇUE. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	686
FIGURE 196: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.3) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE PERÇUE. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	686
FIGURE 197: VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION (SEUIL 0.4) ENTRE VITESSE GRAPHIQUE ET INTENSITE PERÇUE. NOMBRE DE PRODUCTIONS PAR RYTHME	687
FIGURE 198: CORRELATION DE VITESSES GRAPHIQUES ORIGINELLE ET RESULTANTE VIA LES RYTHMES 9, 10, 11, 12 (SEUIL 0.1) ...	711
FIGURE 199: CORRELATION DE VITESSES GRAPHIQUES ORIGINELLE ET RESULTANTE VIA LES RYTHMES 9, 10, 11, 12 (SEUIL 0.2) ...	712
FIGURE 200: CORRELATION DE VITESSES GRAPHIQUES ORIGINELLE ET RESULTANTES VIA LES RYTHMES 9, 10, 11, 12 (SEUIL 0.3)...	712
FIGURE 201: CORRELATION DE VITESSES GRAPHIQUES ORIGINELLE ET RESULTANTE VIA LES RYTHMES 9, 10, 11, 12 (SEUIL 0.4)	713

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	9
INTRODUCTION	13
LIVRE 1 : CONCEPTIONS DU MOUVEMENT DU RYTHME	17
1 RECHERCHE DE DEFINITION DU RYTHME ET DE SON MOUVEMENT	21
1.1 LE <i>MOUVEMENT</i> DU RYTHME SELON LE RYTHME CONÇU COMME OBJET-CONCEPT	21
1.1.1 <i>Essai contemporain de définition générale du rythme</i>	21
1.1.1.1 Le rythme suivant des critères de structure, de périodicité et de mouvement	23
1.1.1.2 Synthèse du rythme par combinaison des trois sous-concepts	26
1.1.2 <i>Recherche de définition du rythme musical</i>	28
1.1.2.1 Le rythme musical par ses conditions minimales d'existence	28
1.1.2.2 Rythme et organisation temporelle	31
1.1.2.3 Rythme et mesure	32
1.1.3 <i>Mouvement sonore du rythme: points de vue de la musicologie théorique</i>	34
1.1.3.1 Analyse du mouvement musical	34
1.1.3.2 Forme élémentaire de mouvement du rythme	37
1.1.3.3 Facteurs de mobilité du rythme	42
1.1.4 <i>Représentations musicographiques du mouvement du rythme</i>	47
1.1.4.1 Limites de la notation-transcription du rythme	47
1.1.4.2 « Représentation » du mouvement rythmique	49
1.2 LE <i>MOUVEMENT</i> DU RYTHME SELON LE RYTHME COMME PHÉNOMÈNE-EXPÉRIENCE	54
1.2.1 <i>Le mouvement du rythme selon le rythme comme phénomène perçu-subi</i>	55
1.2.1.1 La perception du mouvement sonore, une expérience de spatialisation du son	55
1.2.1.2 Perception du rythme comme forme	58
1.2.1.3 Perception du mouvement du rythme suivant les lois de la Gestalt	62
1.2.1.4 Connotation de 'mouvement' en musique	65
1.2.1.5 Les Unités Sémiotiques Temporelles, des archétypes de mouvement ?	67
1.2.2 <i>Le mouvement du rythme selon le rythme comme phénomène perçu-agi</i>	71
1.2.2.1 De la perception du rythme à l'expérience rythmique	72
1.2.2.2 De l'expérience rythmique à la cognition musicale incarnée du rythme	74
1.2.2.3 Métaphore conceptuelle incarnée du temps par l'espace	80
1.3 LE <i>MOUVEMENT</i> DU RYTHME SELON LE RYTHME COMME FORME DYNAMIQUE	88
1.3.1 <i>Forme et flux du rythme par quelques philosophes grecs antiques</i>	89
1.3.1.1 Du concept philosophique de rythme	89
1.3.1.2 ... Au concept musicologique de rythme	91
1.3.2 <i>Concept de forme dynamique dans les arts</i>	93
1.3.3 <i>Les formes dynamiques dans la musique</i>	97
1.3.3.1 Des formes de vitalité dynamiques	98
1.3.3.2 ...aux formes dynamiques en musique	102
1.4 BILAN	103
2 DESCRIPTION PAR L'AUDITEUR DU RYTHME ET DE SON MOUVEMENT	105
2.1 DESCRIPTION VERBALE DE LA MUSIQUE	105
2.2 DESCRIPTION CORPORELLE DU RYTHME ET DE SON <i>MOUVEMENT</i>	112
2.2.1 <i>Description de la musique par les mouvements corporels de grande motricité</i>	113
2.2.1.1 Mouvements de danse	113
2.2.1.2 Relations entre propriétés musicales rythmiques et propriétés des mouvements de grande motricité	118
2.2.2 <i>Mouvements du bras et de la main de l'auditeur</i>	118
2.2.2.1 Première moitié du XX ^e siècle : les pionniers allemands	119
2.2.2.2 Deuxième moitié du XX ^e siècle : évolutions technologiques et apports théoriques	138
2.2.2.3 Recherches contemporaines : interactions intermodales musique-mouvement corporel	154
2.2.2.4 Bilan : apports théoriques et méthodologiques	165
2.3 COUPLAGE RYTHME-MOUVEMENT CORPOREL	167
2.3.1 <i>Le rythme, cause de mouvements</i>	168
2.3.1.1 Réponses corporelles physiologiques et physiques à la musique	168
2.3.1.2 Effets de propriétés musicales rythmiques sur la motricité	171

2.3.2 <i>Le rythme, conséquence de mouvements</i>	183
2.3.2.1 Effets des mouvements propres à l'auditeur sur sa perception du rythme.....	183
2.3.2.2 Effets des mouvements du musicien et des mouvements imaginés par l'auditeur sur sa perception du rythme.....	184
2.4 BILAN	188
LIVRE 2 : ÉTUDE DE LA FORME DYNAMIQUE DU RYTHME PAR LA FORME DYNAMIQUE GRAPHIQUE DE L'AUDITEUR DE CINQ ANS	191
3 CHOIX THEORIQUES ET CONSEQUENCES METHODOLOGIQUES	193
3.1 HYPOTHESES THEORIQUES	193
3.1.1 <i>Rythme et mouvement dans leur rapport au temps et à l'espace</i>	193
3.1.2 <i>Correspondances intersensorielles</i>	195
3.1.3 <i>Correspondances interartistiques</i>	200
3.1.4 <i>Conséquences méthodologiques</i>	203
3.2 ANALYSE DE L'ÉCOUTE MUSICALE EN TEMPS REEL	204
3.2.1 <i>Présent psychologique</i>	204
3.2.2 <i>Perception du flux musical</i>	208
3.3 FORME DYNAMIQUE GRAPHIQUE	209
3.3.1 <i>Activité de représentation graphique</i>	210
3.3.1.1 La représentation	210
3.3.1.2 Modes enactif, iconique, symbolique de représentation des connaissances	211
3.3.2 <i>Mouvement graphique</i>	212
3.3.2.1 Percevoir et produire le mouvement : boucle rétroactive perception-action	213
3.3.2.2 Classification des mouvements humains	215
3.3.2.3 Typologie des mouvements manuels.....	218
3.3.3 <i>Le graphisme comme forme dynamique</i>	220
3.3.3.1 Forme de la dynamique graphique	220
3.3.3.2 Dynamique de la forme graphique.....	223
3.4 APPARIEMENT DES FORMES DYNAMIQUES RYTHMIQUES ET GRAPHIQUES	225
3.4.1 <i>Médiation des formes musicales par le geste</i>	225
3.4.2 <i>Catégories générales de mouvement et propriétés formelles musicales</i>	226
3.4.3 <i>Unités sémiotiques temporelles et figures temporelles corporelles graphiques</i>	227
3.4.4 <i>Les sons évocateurs de mouvement</i>	232
3.4.5 <i>Hypothèses d'appariement des formes dynamiques rythmiques et graphiques</i>	234
3.5 DEVELOPPEMENT DU RYTHME, DE LA GRAPHOMOTRICITE ET DE LA REPRESENTATION GRAPHIQUE DU RYTHME.....	235
3.5.1 <i>Aptitudes rythmiques</i>	237
3.5.1.1 Problématique du développement musical rythmique.....	237
3.5.1.2 Aptitudes concernant la périodicité du rythme	242
3.5.1.3 Aptitudes concernant la structuration du rythme.....	250
3.5.1.4 Aptitudes concernant le mouvement du rythme	257
3.5.2 <i>Aptitudes graphomotrices</i>	259
3.5.2.1 Développement moteur	259
3.5.2.2 Développement graphique.....	267
3.5.3 <i>Aptitudes de représentation graphique du rythme</i>	276
3.5.3.1 Modes de représentation et typologie de notation du rythme	276
3.5.3.2 Essai de typologie des représentations graphiques du rythme.....	280
3.5.3.3 Indices graphiques de perception d'éléments de structure et de périodicité rythmiques	289
3.5.3.4 Notation d'aspects figuraux et métriques du rythme	298
3.6 BILAN	301
4 EXPERIENCE : REPRESENTATIONS GRAPHIQUES ENACTIVES DE PATTERNS RYTHMIQUES PERCUSSIFS PAR DES ENFANTS DE CINQ ANS.....	303
4.1 METHODE EXPERIMENTALE	303
4.1.1 <i>Problématique et hypothèses</i>	303
4.1.1.1 Problèmes.....	304
4.1.1.2 Hypothèses théoriques.....	305
4.1.1.3 Hypothèses opérationnelles.....	306
4.1.2 <i>Conception de l'expérience</i>	308
4.1.2.1 Objectifs et méthode.....	308

4.1.2.2 Protocole	309
4.1.2.3 Variables expérimentales : matériau rythmique, graphisme et sujet	312
4.1.2.4 Glossaire de l'expérience.....	334
4.1.3 Réalisation de l'expérience	335
4.2 RESULTATS BRUTS	337
4.2.1 Traces graphiques sur papier.....	338
4.2.2 Traçages coordonnés avec le son	340
4.3 OUTILS D'ANALYSE ET RESULTATS TRANSFORMES.....	340
4.3.1 Outil d'analyse audiovisuelle des productions graphiques suivant le rythme	341
4.3.1.1 Conception de l'outil	341
4.3.1.2 Résultats des propriétés graphiques selon les 24 rythmes et selon les 33 enfants	348
4.3.2 Outils de comparaison de profils temporels rythmiques et graphiques	351
4.3.2.1 Traitement des données rythmiques	351
4.3.2.2 Profils temporels de propriétés d'intensité et de fréquence de frappes des 24 rythmes.....	353
4.3.2.3 Traitement des données graphiques.....	356
4.3.2.4 Trajectoire et profil temporel de vitesse graphique.....	358
4.3.2.5 Corrélation entre courbes d'évolution temporelle d'intensité perçue et de vitesse graphique.....	365
LIVRE 3 : ANALYSE DE L'APPARIEMENT DE FORMES DYNAMIQUES RYTHMIQUES ET GRAPHIQUES	369
5 ANALYSE GENERALE DES FORMES DYNAMIQUES GRAPHIQUES	371
5.1 FORMES GRAPHIQUES.....	371
5.1.1 Répertoire graphique.....	371
5.1.2 Familles de formes graphiques et évolution durant la production	377
5.1.2.1 Variété des formes graphiques	377
5.1.2.2 Evolution des formes graphiques durant chaque production	383
5.1.3 Taille du graphisme et évolution durant la production.....	385
5.1.3.1 Variété des tailles de graphisme	385
5.1.3.2 Evolution de la taille du graphisme durant la production	388
5.1.4 Traitement de l'espace graphique et évolution durant la production	393
5.1.5 Continuité du traçage	396
5.1.6 Jonction du graphisme.....	400
5.1.7 Bilan.....	404
5.2 DYNAMIQUE GRAPHIQUE	404
5.2.1 Évolution de la vitesse durant la production graphique	405
5.2.2 Dynamique graphique selon les rythmes.....	405
5.2.2.1 Patterns cinétiques.....	406
5.2.2.2 Vitesse irrégulière.....	407
5.2.2.3 Vitesse élevée, supérieure à 50 cm/s.....	407
5.2.2.4 Accélération ou décélération graphique	408
5.2.3 Dynamique graphique selon les sujets.....	409
5.2.4 Cas des graphismes avec vitesse élevée et forte accélération	410
5.2.4.1 Problème de calcul de vitesse	410
5.2.4.2 Vitesse élevée et forte accélération graphiques selon les rythmes	423
5.2.4.3 Vitesse élevée et forte accélération graphiques selon les sujets	429
5.2.5 Bilan.....	432
6 EFFETS DE PROPRIETES RYTHMIQUES SUR LE GRAPHISME	435
6.1 INTENSITE ET ORGANISATION DE L'INTENSITE	436
6.1.1 Intensité absolue : nuances forte et piano.....	437
6.1.2 Variations d'intensité.....	439
6.1.2.1 Crescendo versus decrescendo	439
6.1.2.2 Variations d'intensité durant l'item	442
6.1.3 Intensification par accentuation des frappes.....	443
6.1.4 Corrélation de l'intensité perçue et de la vitesse graphique, par rythme	446
6.2 CHANGEMENT DE TIMBRE	451
6.2.1 Alternance de timbres.....	451
6.2.2 Variation continue de timbre.....	454
6.2.3 Groupement de frappes par effet de timbre.....	456

6.3 DUREES ET ORGANISATION DES DUREES	458
6.3.1 Durées des intervalles entre les frappes : IOI réguliers courts versus longs.....	459
6.3.2 Irrégularité versus régularité de la structure rythmique.....	462
6.3.2.1 Irrégularité de/dans la structure rythmique.....	462
6.3.2.2 Régularité versus irrégularité de structure rythmique	463
6.3.3 Groupements rythmiques	465
6.3.3.1 Groupement par effet de pause : perception d'un silence	465
6.3.3.2 Groupement par effet de pause, d'accent et de timbre	466
6.3.4 Tempi constants.....	467
6.3.5 Variations continues du tempo.....	469
6.3.5.1 Accelerando.....	469
6.3.5.2 Protorythmes Accelerando versus Rallentando	470
6.3.5.3 Rythmes Cycle accelerando versus Cycle rallentando.....	472
6.3.6 Variations discontinues de tempo.....	474
6.3.6.1 IOI décroissants versus croissants irrégulièrement.....	474
6.3.6.2 Deux tempi successifs durant l'item.....	477
6.3.6.3 IOI croissants-décroissants durant l'item	478
6.3.7 Déviation du contexte métrique : retard final.....	479
6.4 BILAN GENERAL DES EFFETS DE PROPRIETES RYTHMIQUES SUR LE GRAPHISME	480
6.4.1 Bilan des hypothèses opérationnelles.....	480
6.4.1.1 Effets de l'intensité et de son organisation sur les formes dynamiques graphiques	481
6.4.1.2 Effets du timbre sur les formes dynamiques graphiques.....	481
6.4.1.3 Effets des durées et de leur organisation sur les formes dynamiques graphiques.....	482
7 PHENOMENES AUDIO-MOTEURS	483
7.1 INDUCTION MOTRICE DU RYTHME	483
7.1.1 Délais de démarrage du traçage.....	485
7.1.1.1 Calcul du délai de démarrage graphique.....	485
7.1.1.2 Effets dynamogènes des rythmes	486
7.1.1.3 Temps de réaction selon les sujets.....	492
7.1.2 Vitesse graphique en début de traçage	502
7.1.2.1 Vitesse élevée en début de traçage selon les rythmes.....	502
7.1.2.2 Vitesse élevée en début de traçage selon les sujets	504
7.1.3 Bilan.....	506
7.2 SYNCHRONISATION GRAPHIQUE AVEC LE RYTHME	507
7.2.1 Evolution de la synchronisation graphique selon le rythme	508
7.2.2 Eléments rythmiques de synchronisation graphique selon le rythme.....	512
7.2.3 Synchronisation du graphisme avec le rythme selon les sujets.....	523
7.2.3.1 Variabilité interindividuelle	523
7.2.3.2 Eléments rythmiques de synchronisation selon les sujets	527
7.2.3.3 Corrélation de l'intensité perçue et de la vitesse graphique, par enfant.....	530
7.2.4 Bilan.....	537
8 TRANSDUCTION D'INFORMATIONS DE VITESSE	539
8.1 COMPARAISON D'ALLURE DE PROFILS TEMPORELS	540
8.1.1 Graphisme originel « pointe ».....	542
8.1.1.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « pointe ».....	542
8.1.1.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 9 « Graphisme 1 pointe ».....	542
8.1.1.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 9 « Graphisme 1 pointe »	544
8.1.2 Graphisme originel « boucle »	551
8.1.2.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « boucle ».....	551
8.1.2.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 10 « Graphisme 2 Boucle »	552
8.1.2.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 10 « Graphisme 2 boucle »	553
8.1.3 Graphisme originel « arche »	559
8.1.3.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « arche »	560
8.1.3.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 11 « Graphisme 3 Arche »	560
8.1.3.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 11 « Graphisme 3 arche »	561
8.1.4 Graphisme originel « alpha ».....	568

8.1.4.1 Profil temporel de la vitesse de traçage du graphisme originel « alpha »	569
8.1.4.2 Profils temporels d'intensité et de fréquence de frappes du rythme 12 « Graphisme 4 Alpha »	570
8.1.4.3 Types de profils temporels de vitesse de traçage des graphismes résultants de l'écoute du rythme 12 « Graphisme 4 alpha »	571
8.2 CORRELATION ENTRE COURBES DE VITESSE DES GRAPHISMES ORIGINELS ET DES GRAPHISMES RESULTANTS	575
8.3 COMPARAISON DES RESULTATS SUIVANT LES DEUX METHODES D'ANALYSE	576
8.2 BILAN	578
9 BILAN DE L'ANALYSE D'APPARIEMENT DES FORMES DYNAMIQUES RYTHMIQUES ET GRAPHIQUES	579
CONCLUSION	585
ANNEXES	591
1 ANNEXE I : TABLEAUX DES RESULTATS QUANTIFIES DES PROPRIETES GRAPHIQUES SELON LES 24 RYTHMES	593
2 ANNEXE II : SONAGRAMME, PROFIL D'INTENSITE ET PROFIL DE FREQUENCE DE FRAPPES PAR RYTHME	607
3 ANNEXE III : LISTE DES TACHES LIEES AU CALCUL SUR LE LOGICIEL MATLAB DE LA CORRELATION DE L'INTENSITE DU PATTERN RYTHMIQUE ET DE LA VITESSE DU GRAPHISME	633
4 ANNEXE IV : VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION PAR SEUIL DE LA VITESSE GRAPHIQUE ET DE L'INTENSITE PERÇUE A L'INSTANT DES FRAPPES, PAR RYTHME	635
5 ANNEXE V : LISTE DES PRODUCTIONS GRAPHIQUES SELON LE SEUIL DE CORRELATION VITESSE-INTENSITE	639
6 ANNEXE VI : TABLEAUX DE COMPARAISON DES DONNEES DYNAMIQUES ET FORMELLES GRAPHIQUES ET DE SYNCHRONISATION AUDIOGRAPHIQUE, SELON LES PROPRIETES DES RYTHMES	647
6.1 EFFETS SUR LE GRAPHISME DE L'ORGANISATION TEMPORELLE DE L'INTENSITE DU RYTHME	647
6.1.1 Effets de l'intensité 'absolue' : nuances forte et piano	647
6.1.2 Effets des nuances crescendo et decrescendo	651
6.1.3 Variations d'intensité durant l'item	653
6.1.4 Intensification par accentuation des frappes	655
6.2 EFFETS SUR LE GRAPHISME DE L'ORGANISATION TEMPORELLE DU TIMBRE DU RYTHME	657
6.2.1 Alternance de timbres	657
6.2.2 Variation continue du timbre	659
6.2.3 Groupement de frappes par effet de timbres	661
6.3 EFFETS SUR LE GRAPHISME DE L'ORGANISATION TEMPORELLE DES DUREES DU RYTHME	663
6.3.1 Durée des intervalles entre les frappes : IOI réguliers, courts versus longs	663
6.3.2 Irrégularité versus régularité de la structure rythmique	665
6.3.3 Effets sur le graphisme de groupements rythmiques	667
6.3.3.1 Effets de groupement par effet de pause	667
6.3.3.2 Effets de groupement par effet de pause et de timbre	669
6.3.4 Tempi constants	671
6.3.5 Variations continues de tempo	673
6.3.5.1 Effets de tempo accélérant versus ralentissant régulièrement	673
6.3.5.2 Accelerando versus rallentando	675
6.3.6 Variations discontinues de tempo	677
6.3.6.1 Effets d'IOI croissants ou décroissants irrégulièrement	677
6.3.6.2 Effets de deux tempi successifs durant l'item	679
6.3.6.3 Effets d'IOI croissants-décroissants durant l'item	681
6.3.7 Effets de déviations du contexte métrique : retard final	683
7 ANNEXE VII : VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION PAR SEUIL DE LA VITESSE GRAPHIQUE ET DE L'INTENSITE PERÇUE, PAR RYTHME	685
8 ANNEXE VIII : DELAIS DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE SELON LES SUJETS, PAR RYTHME	689

9 ANNEXE IX : DELAIS DE DEMARRAGE DU TRAÇAGE SELON LES RYTHMES, PAR ENFANT	699
10 ANNEXE X : VALEUR MAXIMALE DE CORRELATION DE LA VITESSE DU GRAPHISME ORIGINEL ET DE LA VITESSE DES GRAPHISMES RESULTANTS DE L'ECOUTE DES RYTHMES 9, 10, 11, 12	711
BIBLIOGRAPHIE THÉMATIQUE	715
1 METHODE DE RECHERCHE	715
2 RYTHME ET <i>MOUVEMENT</i> MUSICAL	717
3 DESCRIPTION CORPORELLE ET GRAPHIQUE DU <i>MOUVEMENT</i> DU RYTHME.....	731
4 DEVELOPPEMENT DE L'ENFANT, GENERAL, MUSICAL ET GRAPHO-MOTEUR.....	749
4.1 DEVELOPPEMENT GENERAL	749
4.2 DEVELOPPEMENT MUSICAL.....	752
4.3 DEVELOPPEMENT GRAPHO-MOTEUR	763
INDEX NOMINUM	767
TABLE DES ILLUSTRATIONS	775
1 EXEMPLES MUSICAUX.....	775
2 TABLEAUX	779
3 FIGURES.....	783

Approche du mouvement du rythme musical par le mouvement graphique de l'auditeur

Représentations graphiques *enactives* de patterns rythmiques percussifs par des enfants de cinq ans

Résumé

Cette thèse porte sur le rythme musical considéré sous l'angle particulier de son *mouvement* et entreprend une approche empirique de cette notion abstraite, en l'absence de consensus sur la définition du rythme et d'une théorie scientifique sur le *mouvement* en musique. Différentes conceptions théoriques du *mouvement* sont exposées suivant que le rythme musical est considéré comme un concept, un phénomène ou une forme dynamique. Ces points de vue sont enrichis de données empiriques sur la description du rythme par les mouvements de l'auditeur. A l'appui de ce cadre de référence, la forme dynamique est saisie comme outil conceptuel et méthodologique qui permet de cerner les qualités dynamiques du rythme suivant l'évolution temporelle de ses éléments dynamo-agogiques, supposés porteurs d'informations de vitesse du *mouvement*, et d'analyser cette forme dynamique musicale par les formes dynamiques graphiques tracées par l'auditeur lors de l'écoute du rythme. Cet outil est testé dans une expérience exploratoire durant laquelle on enregistre les traçages effectués avec un stylo numérique par 33 enfants de 5 ans, sujets *enactifs*, lors de la représentation graphique de 24 brefs patterns percussifs. Les 792 traçages avec l'environnement sonore sont étudiés avec deux méthodes de comparaison de l'évolution temporelle du graphisme et du rythme. L'analyse de l'appariement de ces formes dynamiques rythmiques et graphiques met en évidence des liens solides entre des propriétés d'intensité et de durées des rythmes et des propriétés formelles et dynamiques des graphismes des auditeurs.

Mots-clés : *Mouvement* du rythme ; dynamo-agogique ; mouvement graphique ; forme dynamique ; auditeur de cinq ans

Approach of Rhythmic Musical Motion by Listener's Graphic Movement

Enactive graphical representations of rhythmic percussive patterns traced by five-year-old children

Summary

Given the lack of a consensual definition of rhythm and of a scientific theory of musical motion, this dissertation approaches empirically the abstract notion of the motion conveyed by musical rhythm. We present several theoretical conceptions of motion, musical rhythm being alternatively considered as an object, a phenomenon or a dynamic form. These points of view are completed with empirical data describing rhythms through listener's movements. Within this framework, we use the dynamic form as a conceptual and methodological tool giving insights into the rhythm dynamics according the way their *dynamo-agogic* elements, assumed to convey information regarding motions' speed, change over time. It also allows the analysis of this musical dynamic form through the graphical dynamic form drawn by the listeners as they listen to a rhythm. This tool was tested in an exploratory experiment on 33 five-year-old enactive subjects, during which the movements of an electronic pen were recorded as the children were asked to draw an enactive graphical representation of 24 brief percussive patterns. The 792 tracing samples thus generated as rhythms unfold are studied with two methods comparing the respective temporal changes of tracing movements vs rhythms. Pairing these graphical and rhythmic dynamic forms for analysis exhibited strong links between the properties of intensity and duration of rhythms on one hand, and dynamic and formal properties of the graphical patterns generated by the listeners on the other hand.

Keywords : Rhythmic motion ; dynamo-agogic ; graphic movement ; dynamic form ; five-year-old listener

UNIVERSITÉ PARIS-SORBONNE

ÉCOLE DOCTORALE :

ED 5 – Concepts et langages

Maison de la Recherche, 28 rue Serpente, 75006 Paris, FRANCE

DISCIPLINE : Musique et musicologie