



HAL
open science

Analyse Interdisciplinaire de la Synthèse Instrumentale

Charles de Paiva Santana, Vincent Tiffon, Mylène Gioffredo, Micael Antunes,
Javier Elipe Gimeno, Samuel Poirot, Sølvi Ystad

► **To cite this version:**

Charles de Paiva Santana, Vincent Tiffon, Mylène Gioffredo, Micael Antunes, Javier Elipe Gimeno, et al.. Analyse Interdisciplinaire de la Synthèse Instrumentale. Journées d'Informatique Musicale 2023, Association Française d'Informatique Musicale - Université Paris 8, May 2023, Paris, France. hal-04275831

HAL Id: hal-04275831

<https://hal.science/hal-04275831v1>

Submitted on 8 Nov 2023

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.

ANALYSE INTERDISCIPLINAIRE DE LA SYNTHÈSE INSTRUMENTALE : ÉTUDE DE CAS AVEC *PARTIELS* DE GRISEY

Charles de Paiva Santana¹, Vincent Tiffon¹, Mylène Gioffredo^{1,3}, Micael Antunes^{1,2}, Javier Elipe Gimeno¹, Samuel Poirot¹, Sølvi Ystad¹

¹Aix-Marseille Univ, PRISM-CNRS

²NICS/IA- University of Campinas

³InCIAM (Institut Créativité et Innovation, Aix-Marseille Univ)

{depaiva, tiffon, gioffredo, elipe-gimeno, poirot, ystad}@prism.cnrs.fr
michaelant@gmail.com

RÉSUMÉ

Cet article présente les fondements d'une enquête sur la technique de composition de la synthèse instrumentale (SI), laquelle est une adaptation de la synthèse additive qui utilise des instruments orchestraux classiques pour créer de nouvelles sonorités. L'étude se concentre sur l'analyse de la SI à travers une étude de cas, *Partiels* de Gérard Grisey [6]. Des paramètres primaires et des descripteurs symboliques ont été distingués pour identifier les aspects calculables de la SI et le rôle de l'intuition dans le processus de composition. Un modèle de SI a été développé sur la base d'informations extraites de partitions musicales et des simulations ont été réalisées à l'aide d'OpenMusic et d'échantillons orchestraux. Différentes approximations de fréquences réelles dans la série harmonique ont été testées, notamment des $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{8}$ de ton. La précision du modèle a été évaluée en comparant les résultats avec les partitions musicales originales. Cette étude contribue à une meilleure compréhension de la SI et de son potentiel d'utilisation dans la composition de musique contemporaine. L'objectif final est de mener des expériences futures en utilisant des musiciens pour simuler la SI, ce qui permettra de mieux comprendre le potentiel de cette technique.

1. INTRODUCTION

1.1. Musique spectrale, synthèse additive, synthèse instrumentale

La "musique spectrale", dont on doit l'appellation à Hugues Dufourt [4], est née historiquement de l'alliage entre science, technologie et musique (AST). Un groupe de jeunes compositeurs, pour la plupart élèves d'Olivier Messiaen au Conservatoire de Paris (autour de l'année

1970) ont souhaité réintroduire la perception dans la composition. Par ailleurs, Gérard Grisey s'est formé à l'acoustique musicale auprès d'Emile Leipp (au LAM, aujourd'hui intégré dans l'Institut d'Alembert, Paris). Cette mise en valeur de la perception, non exclusive à ces compositeurs, s'inscrit en opposition à la supposée ou réelle hégémonie de la musique sérielle dans les années cinquante, dont les enjeux esthétiques étaient alors perçus, à tort ou à raison, comme un fétichisme du système au détriment du résultat sonore et de la perception. Des compositeurs précurseurs comme Radulescu, Tenney, Risset, des personnalités aussi différentes esthétiquement que Grisey, Murail, Dufourt, Lévinas, Tessier réunis au sein de plusieurs collectifs dont l'*Ensemble Itinéraire* (créé en 1973), auxquels s'ajoutent notamment Vivier, Dumitrescu (hors *Itinéraire*), ont ainsi créé de nouveaux processus compositionnels dont les histoires de la musique relèvent habituellement au moins quatre grands principes, largement imbriqués : 1) l'hybridation harmonie/timbre qui met en scène pour la perception une ambiguïté entre des catégories relevant de théories musicales classiques et des notions de physique acoustique ainsi que des modèles technologiques issus des manipulations électroacoustiques de studio ; 2) la notion de synthèse instrumentale¹, i.e. le transfert de procédés électroacoustiques dans le champ de l'orchestration instrumentale induisant un processus perceptif de fusion ; 3) la notion de musique liminale (initialement conscientisée par G. Grisey), jouant sur les effets de seuil perceptif ; et 4) les processus de transformations continues.

Le point de départ de cette investigation est l'exploration du second domaine, la notion de SI proposée par Gérard Grisey (1946-1998). Cette technique, en référence à la synthèse additive, vise à créer des textures sonores en transcrivant les paramètres trouvés dans l'analyse temps-fréquence des sons sur une partition

¹ Cette technique, qui relève de la transcription, n'est pas le fait unique des musiciens dits spectraux, mais est partagée par d'autres compositeurs, comme par exemple F.B. Mâche [7, 3]

orchestrale [8]. La synthèse additive est une technique de création sonore par l'ajout d'ondes sinusoïdales de fréquences variées et selon des comportements dynamiques dans le temps également variables. De son côté, la SI permet l'émergence d'une nouvelle qualité orchestrale en la "synthétisant" avec des sons orchestraux [11]. Cette nouvelle qualité engendre un état qui, selon Grisey, est "un être hybride de notre perception, un son qui, sans être encore un timbre, n'est déjà pas tout à fait un accord" [9]. Les principales compositions qui utilisent le procédé de SI sont présentées dans la Table 1.

Œuvre	Année	Modèle Acoustique
Gérard Grisey, <i>Périodes</i>	1974	son de spectre trombone
Gérard Grisey, <i>Partiels</i>	1975	son de spectre théorique (<i>mi grave</i>)
Gérard Grisey, <i>Modulations</i>	1976	son de cuivres
Tristan Murail, <i>Gondwana</i>	1980	sons de cloches
Gérard. Grisey, <i>Transitoires</i>	1980-1981	note de contrebasse (corde <i>mi</i>) jouée par différents modes d'exécution (7 au total)
Tristan Murail, <i>Sillages</i>	1985	klaxons des tramways de Kyoto.
Marc-André Dalbavie, <i>Les Miroirs transparents</i>	1985	
Gérard Grisey, <i>L'Îcône Paradoxe</i>	1992 - 1994	sons vocaux (lectures des signatures de Piero de la Francesca et extraits de son traité de perspective, <i>De perspectiva pingendi</i> .)
Tristan Murail, <i>Le Partage des eaux</i>	1995	
Jonathan Harvey, <i>Speakings</i>	2008	sons vocaux
Tristan Murail, <i>Les Neiges d'antan</i>	2019	cloches des troupeaux de vaches

Table 1. Liste non exhaustive de compositions utilisant la synthèse instrumentale.

1.2. Objectifs

L'utilisation des techniques électroniques de studio a eu un impact significatif sur la musique instrumentale moderne. Notre étude vise à une meilleure compréhension de sa signification et de son impact. En outre, nous cherchons à mettre en lumière le travail et l'héritage des compositeurs qui ont participé à l'École spectrale française. En analysant des compositions telles que *Partiels* de Gérard Grisey et *Désintégrations* de Tristan Murail [9], cette étude vise à apporter un nouvel éclairage sur les compositions qui utilisent les techniques technomorphologiques [16], en particulier la SI.

Cette étude pourrait être utile aux compositeurs et aux étudiants en quête de moyens permettant d'étendre et de transformer les techniques du passé dans le but de proposer de nouvelles formes d'écriture compositionnelle. Elle peut donner un aperçu concret de la façon dont le timbre et le son peuvent servir de point de départ à un idiome compositionnel. Nous espérons également que notre travail pourra aider les musiciens à aborder les partitions musicales qui utilisent la technique de la SI. Cela peut offrir de nouvelles perspectives sur la dualité entre imagination et algorithme, ou "décision et automatisme" qui se manifestent dans la création contemporaine.

1.3. Questions de recherche et hypothèses

Comment décrire analytiquement un passage de musique écrite qui utilise la SI ? Notre première hypothèse est que les caractéristiques timbrales et structurelles des objets sonores de SI dans la musique spectrale peuvent être décrites dans le domaine symbolique par des mesures quantitatives/statistiques tels que la densité des partiels, les partiels les plus renforcés etc. Par l'analyse du signal sonore, d'autres aspects liés à la structure musicale tels que forme de l'onde ou le contenu spectral peuvent être mis en évidence à travers des descripteurs de timbre (e.g. centroid spectral, flux spectral, forme de l'enveloppe spectrale, ...). Néanmoins, même si ces descripteurs permettent de montrer des variations d'interprétation à travers différents enregistrements, les effets perceptifs chez les auditeurs sont difficiles à prédire.

Si la synthèse additive nécessite un certain nombre de paramètres, quels sont les paramètres de la SI ? À l'exception de la phase, la plupart des paramètres de synthèse additive peuvent être utilisés pour modéliser la SI. Cependant, notre seconde hypothèse est que le choix des instruments utilisés dépend largement de l'intuition du compositeur et de son savoir-faire comme de contraintes externes telles que l'instrumentation de l'œuvre commandée, les interprètes, et la salle de concert de la première exécution publique.

Dans un tel contexte où intuition, modèle acoustique et métier d'orchestrateur s'interpénètrent, est-il possible de déterminer exhaustivement les paramètres significatifs pour modéliser la SI, pourrions-nous les utiliser pour recomposer des musiques existantes (vocation pédagogique) et/ou générer algorithmiquement de

nouvelles proposition de musique spectrale (vocation artistique)? En troisième hypothèse, nous pensons pouvoir modéliser et simuler algorithmiquement la technique de la SI, à l'instar de ce que font déjà les logiciels d'orchestration assistée tels qu'Orchidea. Mais comment valider la méthodologie et les résultats analytiques ? Un modèle de SI peut être validé en faisant des simulations et en utilisant des outils analytiques ou des tests d'écoute expérimentaux pour estimer la précision des résultats simulés par rapport aux exemples originaux. Cette phase de travail est en cours de réalisation dans le cadre du projet ANTISCOPE décrit dans les "remerciements" (partie 5).

2. METHODOLOGIE

Cette étude vise à décrypter les rouages de la SI et à développer une méthodologie pour analyser les techniques de composition qui la rendent possible (Figure 1).

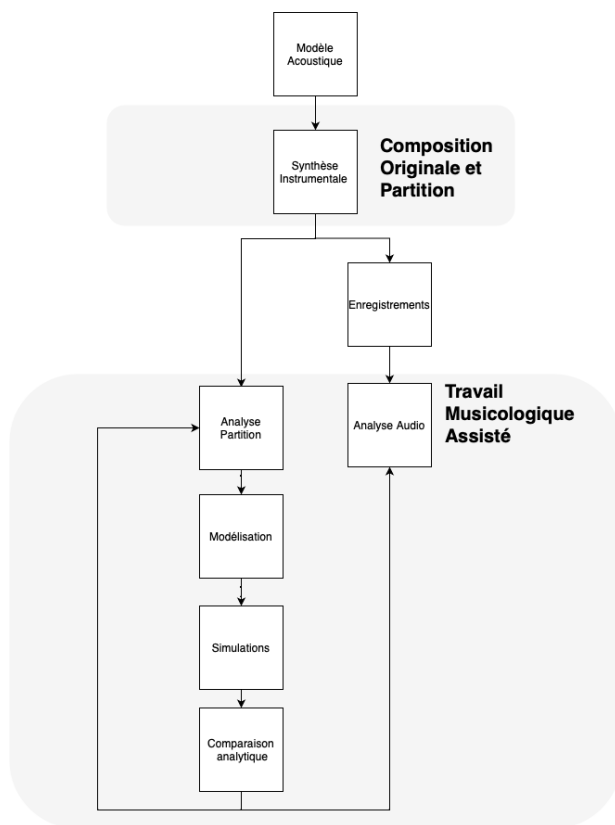


Figure 1. Représentation graphique de la méthodologie.

Sur la base des informations extraites des partitions musicales, un modèle de SI a été développé. Une fois le modèle développé, il a été utilisé pour simuler la technique à l'aide de logiciels comme *OpenMusic* et d'échantillons orchestraux trouvés dans la station de travail audio numérique *Logic Pro*. À ces différentes étapes s'ajoute l'analyse des enregistrements (Table 2) avec des descripteurs audio : l'ensemble de ce travail peut être qualifié de travail musicologique assisté par

ordinateur. Les expériences ont été menées en utilisant différentes approximations des fréquences réelles de la série harmonique, y compris des $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{8}$ de ton. Ces simulations ne donnent qu'un aperçu de ce qui peut être accompli à l'avenir, car l'objectif ultime est de mener des expériences en faisant appel à de vrais musiciens pour simuler les SI. Cela permettra de mieux comprendre le fonctionnement de cette technique de composition unique et la façon dont elle peut être utilisée pour créer de la musique nouvelle. La précision du modèle a ensuite été évaluée en comparant les résultats avec les partitions musicales originales.

En parallèle à ce travail de modélisation et de simulation, et forts des résultats obtenus, nous avons procédé à un travail comparatif sur la base de descripteurs audio de trois enregistrements de *Partiels* de Grisey. Les trois enregistrements sélectionnés sont les suivants :

Fig 3	Album	Interprètes	Editeur
B	Gérard Grisey, <i>Les Espaces Acoustiques</i>	Gérard Caussé (alto), Ensemble Court-Circuit / Pierre-André Valade (direction), Frankfurter Museumorchester / Sylvain Cambreling (direction)	CD Accordia 4 1999.
C	MusikFabrik Edition 13. Crossings	Nicolaou, Schöllhorn, Grisey, Mack, Ensemble Musikfabrik, Emilio Pomarico,	CD WER68
D	Gérard Grisey, <i>Les Espaces acoustiques</i> ,	Garth Knox (alto), Asko Ensemble, WDR Sinfonieorchester Köln / Stephan Asbury (direction)	CD Kair 001242 2005.

Table 2. Sélection des enregistrements phonographiques de *Partiels* de Grisey.

3. RESULTATS

3.1. Que montre l'analyse de la première section de partiel ?

3.1.1 Identité de *Partiels* de Grisey

Partiels est une composition pour 18 musiciens, écrite en 1975 et créée en 1976. Elle fait partie d'un cycle de compositions appelé *Les Espaces Acoustiques*. Le compositeur a mis plus de dix ans pour composer ce cycle d'une durée d'une heure et trente minutes. La première pièce est pour instrument solo (alto) et la dernière pièce pour quatre solistes (quatre cors) et grand orchestre. Chaque section de *Partiels* est le résultat d'un procédé de composition différent. Certaines d'entre elles sont de nature technomorphologique. Alors que la section 2 explore l'harmonie et le rythme générés à partir de sons de combinaison, la section 1 se concentre sur la SI d'un son *mi* grave d'un spectre théorique. En tant que telle, cette analyse se concentrera uniquement sur cette première section.

La première section de *Partiels* a été étudiée en détail par François-Xavier Féron [6]. Elle peut être divisée en onze sous-sections. Chaque sous-section correspond à un chiffre de répétition dans la partition, qui a été segmentée par le compositeur lui-même.

Lorsque la deuxième pièce du cycle *Les espaces acoustiques* intitulée *Périodes* est jouée sans interruption

avec *Partiels*, elles partagent une section commune. Ainsi, la dernière page de *Périodes* sert de section initiale à *Partiels*, où l'on peut entendre la SI : cette partition est l'une des pages les plus reconnaissables de la musique spectrale.

3.1.2 Plan formel

La première page renommée de *Partiels*, écrite en notation proportionnelle et ressemblant à un sonagramme, est répétée plusieurs fois avec de légères variations de durée. Plus qu'une simple transcription d'un modèle acoustique ou d'un sonagramme, le début de *Partiels* présente un geste orchestral original qui peut être subdivisé en sous-sections ou moments correspondant à ses quatre mesures.

Le premier moment est un motif pratiquement périodique sur la contrebasse et le trombone, formant une anacrouse pour la SI. Celle-ci elle-même peut être subdivisée en trois moments correspondant à l'enveloppe d'amplitude d'un son acoustique : fondamentale + transitoires d'attaque, régime de maintien et transitoires d'extinction (Table 3, Figure 2).

Chiffre	Fund + Trans. Att.	Régime de maintien	Trans. d'extinction	Total
#1	4	9	3,75	16,75
#2	4	10	3,75	17,75s
#3	3,5	8,5	4,5	16,5
#4	3	8	4,25	15,25
#5	3,5	9,75	4,25	17,50
#6	3,25	7,75	4,5	15,5
#7	2,75	8,25	5,25	16,25
#8	2,5	7,5	5,25	15,25
#9	2	9	6	17
#10	1,5	9,5	6,75	18,75
#11	1	9	9	19

Table 3. Durées des sous-sections de la première section relevées sur la partition Ricordi [10, p. 1-14, avec les proportions attaque/maintien/extinction (durées exprimées en secondes).

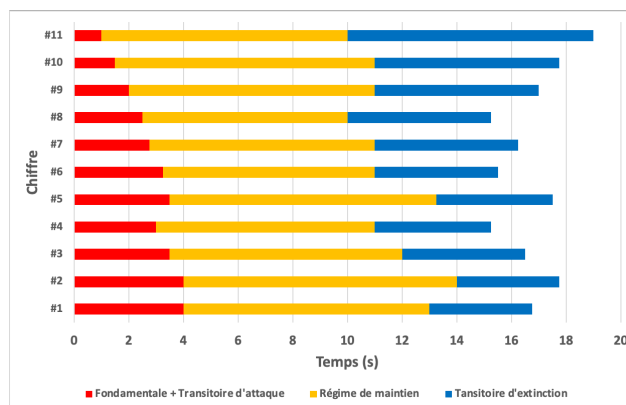
Bien que la SI ait offert une nouvelle opportunité pour la composition musicale en fournissant une expérience auditive qui n'était ni strictement tonale ni atonale et en formant la base d'une musique où le "son" était le matériau principal plutôt que les notions traditionnelles de "note", elle posait également un défi compositionnel. Une fois ce geste équilibré présenté et pouvant être répété plusieurs fois sans inconfort, comment pourrait-il être développé en un discours musical ?

Il convient de mentionner notre choix de travailler sur des valeurs discrètes pour "coller" à la partition [10]

(figure 3, ligne A) qui propose, *de facto*, presque exclusivement des valeurs discrètes. La nature du signal audio présuppose des dynamiques continues, alors que la partition fonctionne en termes de dynamiques discrètes.

Figure 2. Représentation graphique de la table 2.

La figure 3 montre l'écart interprétatif entre les trois versions enregistrées (figure 3, lignes B, C, D) par rapport aux données initiales fournies par la partition [10] (figure 3, ligne A). Les écarts sont *a minima* de deux ordres :



distorsion temporelle, par un élargissement dans la version D ; écart dynamique, par disposition spectrale différentes d'une interprétation à l'autre. Si l'élargissement temporel s'explique difficilement du fait de la précision de la partition, la question des dynamiques est plus compréhensible, du fait du caractère théorique des indications symboliques dans la partition, et des différences en termes de prise de son des trois enregistrements. Ici se joue l'adéquation entre les intentions du compositeur quant au modèles spectraux et la nécessaire interprétation des musiciens et du preneur de son, en connaissance de cause ou non des intentions du compositeurs et des connaissances en termes de physique acoustique. L'analyse détaillée de ces écarts et les conclusions qui s'y rapportent seront l'occasion d'une prochaine publication.

3.1.3 De l'harmonicité vers l'inharmonicité

La première section de *Partiels* est, en quelque sorte, une longue séquence d'objets de SI. Pour construire la forme et le discours à partir de ce matériau de base, le compositeur utilise une méthode qui consiste à transformer l'objet initial d'un état d'harmonicité et de périodicité vers l'inharmonicité et l'apériodicité.

Grisey *Partiels* Première section :
 Comparaison de la forme et de la durée entre la partition
 et trois enregistrements différents

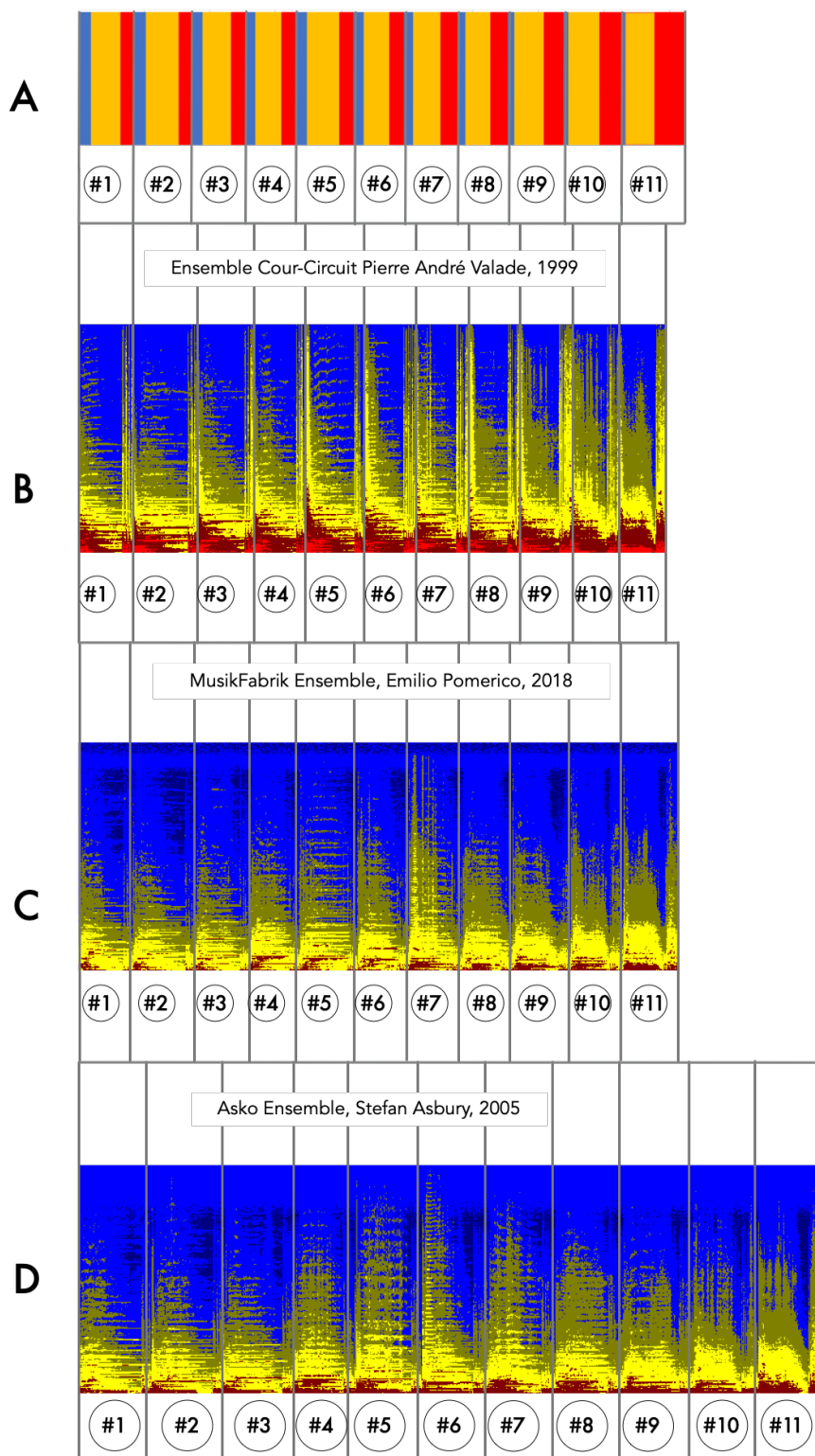


Figure 3. Représentation de l'information symbolique de la première section (A) au regard de trois sonagrammes de trois interprétations enregistrées (B-C-D) disponibles en CD (cf. Table 2).

Grisey compartimente le spectre synthétisé en plusieurs zones de fréquences différentes: zones hors formants et zones formantiques. Ces zones reçoivent un traitement orchestral différencié (en les associant à une famille d'instruments particulière, par exemple), et font l'objet de transformations. Du point de vue formel, ces dernières participent à la trajectoire de la musique de l'harmonie à l'inharmonie.

La zone hors formant est la base du spectre synthétique subissant le moins de transformations et qui maintenant une certaine identité du spectre. Dans le cas de *Partiels*, cette zone est principalement confiée à la clarinette, au trombone, au cor et aux cordes. Grisey fait encore une autre distinction entre les fréquences du spectre en dehors du formant et les "transitoires", mais à ce stade de la recherche nous n'avons pas encore travaillé avec cette distinction. Dans *Partiels*, Grisey distingue deux zones formantiques qui correspondent grosso modo aux partiels pairs et impairs confiés pour l'essentiel aux bois et aux percussions. Cette zone formantique se charge progressivement vers le grave et s'enrichit d'inharmoniques. Ces dernières, dans le cas de notre modèle, sont représentées par des nombres fractionnaires.

L'approche de Grisey pour transformer le matériau est perceptible pour l'auditeur et repose sur un ensemble d'opérations très schématiques, bien qu'elle permette également une grande liberté en termes de créativité de la part du compositeur. À chaque répétition du trombone synthétique, Grisey transpose certains des partiels supérieurs vers une ou plusieurs octaves inférieures, ce qui augmente la prévalence des battements de fréquence. Parallèlement, il demande des techniques de jeu étendues de plus en plus extrêmes. Le motif joué par la contrebasse devient apériodique, voire complètement aléatoire et bruyant. La subtilité des attaques de triple piano qui ouvrent la composition cède progressivement la place à des sons de plus en plus agressifs.

De manière évidente, les principales particularités de la SI reposent sur la combinaison de plusieurs critères : tout d'abord, le filtrage effectué dans les rangs de partiels d'une série harmonique donnée (une composition pour 18 musiciens a tout intérêt à pouvoir écrire des spectres qui vont bien au-delà du 18ème partiel du fondamental donné) ; le choix des instruments ; leur mode de jeu ou d'articulation respective (le compositeur optimisera souvent, comme on peut facilement le conjecturer, l'orchestration pour créer un spectre plus riche en exploitant les qualités timbrales de sa palette orchestrale) ; l'indétermination qui découle de la tentative de reproduire un modèle acoustique avec des composants complexes (sons orchestraux) qui résisteront à la fusion et produiront de nouvelles sonorités inattendues.

Le tableau ci-dessous (Table 4) présente les paramètres du modèle de SI qui nous servira de base pour une pratique analytique mais aussi pour une implémentation informatique qui nous permet d'exécuter des simulations d'objets de SI.

Paramètre	Type	Description
Fondamentale	N. Entier (Hz)	La fréquence fondamentale du spectre produit
Rangs de la zone "hors-formants" ²	Liste de flottants	<i>Les harmoniques</i> présents dans le spectre, exprimés en multiples de la fréquence fondamentale
Rangs de la zone formantique ³	Liste de flottants	<i>Les partiels harmoniques et inharmoniques</i> du spectre. Ils sont exprimés par des nombres décimaux
Attaques	Liste d'entiers	Les moments où les partiels commencent à être joués
Durée totale	Liste d'entiers	La durée pendant laquelle les harmoniques sont joués
Intensité initiale	Liste d'entiers	La nuance initiale avec laquelle le partiel est jouée
Intensité maximale	Liste d'entiers	Les nuances la plus forte atteinte pendant la durée du partiel
Intensité minimale	Liste d'entiers	Les nuances avec laquelle la note s'éteint
Instruments de l'orchestre	String / Entier correspondant au canal MIDI	La liste des instruments de l'orchestre utilisés pour produire les partiels
Durée du transitoire d'attaque	Entier (ms)	Proportion de la durée totale attribué pour la phase initiale du spectre
Durée du régime de maintien	Entier (ms)	Proportion de la durée totale attribué pour la phase de maintien du spectre
Durée de la résonance	Entier (ms)	Proportion de la durée totale attribué pour la phase d'extinction du spectre
Modes de jeu	String / Entier (canal MIDI)	Les modes de jeu utilisés pour produire les partiels, comme la position de l'archet pour un violon (<i>Sul tasto, Sul ponticello</i>)
Articulation	String / Entier (canal MIDI)	Certains instruments permettent le découplage entre mode de jeu et articulation

Table 4. Liste des paramètres avec les types correspondants servant de base à une modélisation informatique de la synthèse instrumentale.

3.2. Intuition et données moins formalisables

Pour comprendre la réalité concrète de la SI et son supposé impact sur la perception, d'autres aspects non

² Voir 3.1.3

³ Voir 3.1.3

négligeables et moins facilement objectivables doivent être identifiés et intégrés dans le processus analytique. On peut citer pêle-mêle : 1) la manipulation de la forme de l'objet de synthèse (transitoires d'attaque, maintien, extinction) comme indiqué dans la Table 1 ; 2) le choix de l'instrumentation (qui relève du "métier" de compositeur, singulièrement dans l'esthétique dite "spectrale" ou "liminale") ; 3) l'attribution et le rôle des instruments (via leurs spécificités timbrales, leurs modes de jeu, etc.) dans la formation des spectres ; 4) les procédures de renforcement ou de densifications de certains partiels par l'ajout de fréquences supplémentaires (comme par exemple l'accordéon dans *Partiels*) ; 5) les stratégies de création d'un taux d'inharmonicité des spectres synthétiques instrumentaux (en tenant compte également de leur place dans l'ambitus du spectre).

Rappelons que Grisey travaille sur trois zones de partiels⁴ : deux zones de type formantique (qui conditionnent le glissement des partiels vers le grave) et une troisième hors formantique. Ce choix de processus n'est pas directement indexé par une objectivité scientifique, mais relève de la créativité propre du compositeur. De ce fait, si certaines de ces procédures sont objectivables, elles peuvent toutes ou en partie relever de la "responsabilité" du compositeur, de son "intuition", parfois conscientisée en amont ou en aval de la composition. Grisey s'exprimait ainsi pour exemplifier la technique de la SI [9, p. 107] : "L'excessive épaisseur et la redondance restent les principaux dangers de ce type d'écriture [i.e. la synthèse instrumentale]. Il nous reste sans doute beaucoup à apprendre et à expérimenter afin de suggérer un spectre synthétique par ses composantes les plus saillantes tout en supprimant l'inutile".

Aux données objectives relevant pour l'essentiel d'un "projet" compositionnel adossé à des modèles acoustiques [2] s'ajoutent ainsi des données empiriques de l'activité de "recherche musicale" des compositeurs, qu'il convient de formaliser le plus possible.

3.3. Analyse avec descripteurs Audio et Symbolique

3.4.1 Analyse Symbolique

À ce stade de notre recherche, nous avons utilisé des descripteurs symboliques afin de mesurer le degré d'écart entre les choix faits par le compositeur lors de l'écriture de la partition et la réalité acoustique de l'exécution de la pièce. Nous nous sommes concentrés sur trois analyses, en utilisant divers descripteurs symboliques⁵.

Dans le premier cas, nous avons étudié l'évolution de la densité des partiels au cours des onze premières sous-sections de la partition (Figure 4a). L'écoute de la pièce suggère un processus de complexification qui favorise le passage progressif de l'harmonicité et de l'inharmonicité. Nous avons émis l'hypothèse que, sur le plan symbolique, l'usage des partiels se densifierait au cours de la première

section. Notre analyse montre qu'effectivement la section moins dense "harmoniquement" (en termes de nombre de hauteurs jouées dans une sous-section) est la sous-section introductive (sous-section 0 - première page), avec seulement quatorze hauteurs différentes utilisées. Elle est suivie par la première sous-section qui atteint 18 partiels et la seconde avec 24.

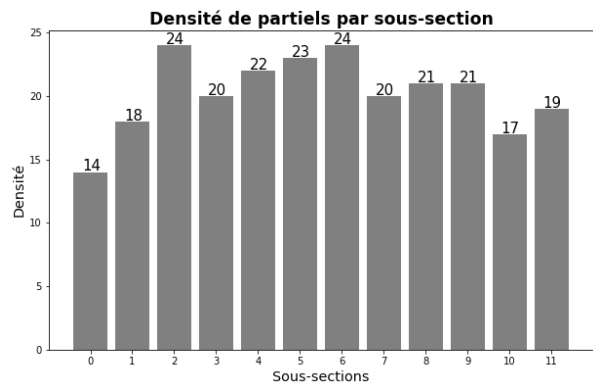


Figure 4a. Représentation graphique des données de l'analyse des descripteurs symboliques de la première section de *Partiels*.

La courbe de densité de la première section de partiels ressemble davantage à un arc qu'à une ligne toujours croissante, ce qui ne correspond peut-être pas exactement à ce que nous entendons ou pensons de la pièce. Bien que ce paramètre puisse sembler moins important, il a certainement fait partie du raisonnement et de l'arsenal du compositeur lors de la création de la pièce.

Dans toute la première sous-section, Grisey n'emploie pas plus de 24 partiels à la fois, ce qui est compréhensible étant donné l'effectif de 18 musiciens. Après avoir atteint 24 hauteurs différentes simultanées à la sous-section 6, la densité diminue progressivement, atteignant 19 hauteurs différentes au chiffre 11. Cela peut s'expliquer par le fait qu'au fur et à mesure que la pièce avance dans la première section, les instruments doivent jouer des techniques étendues ou des sons bruités, ce qui rend difficile de demander aux instrumentistes de jouer des multiphoniques, d'autant plus que certaines techniques étendues rendent déjà le son de l'instrument plus riche.

La deuxième analyse symbolique (Figure 4b) que nous avons menée a consisté à corréler le partiel le plus élevé par sous-section avec le nombre d'inharmoniques par section. Le suivi du plus haut rang est intéressant car même s'il est souvent joué subtilement à ce moment de la pièce, il peut marquer la perception de la pièce comme étant la plus haute hauteur à chaque sous-section, établissant avec la fondamentale, l'ambitus, et la perception spatiale de la hauteur. En lisant attentivement la partition et en écoutant la pièce, nous avons émis l'hypothèse que le nombre d'inharmoniques augmente au

⁴ cf. 3.1.3

⁵ Dans le cadre de ce papier, l'équipe n'est pas exhaustive dans les descripteurs choisis. D'autres descripteurs sont en cours d'étude : ratio

entre partiels nouveaux, partiels maintenus et partiels disparus par sous-sections ; évolution des timbres par sous-section ; sons résultants engendrés par sous-section ; répartition des intensités des partiels par sous-section...

fur et à mesure que les partiels de rang le plus élevé diminuent (car ils sont transposés vers le registre grave).

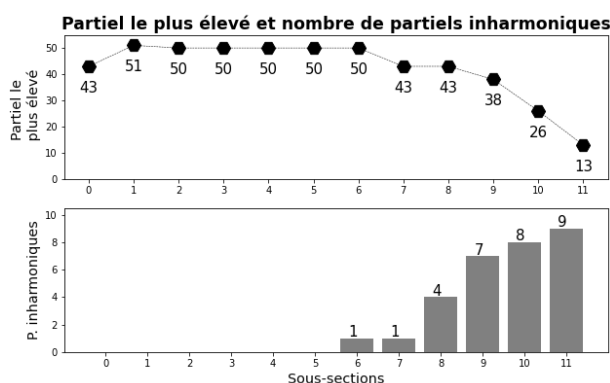


Figure 4b. Représentation graphique des données de l'analyse des descripteurs symboliques de la première section de *Partiels*.

Notre analyse montre que ces deux paramètres (à l'exclusion de ce qui est joué par l'accordéon) indiquent clairement le moment où la texture spectrale, qui était plus ou moins finement construite au début, se fracture et inverse son caractère vers l'inharmonicité. La première page de la partition, tout en étant la moins dense comme nous l'avons remarqué plus haut, correspond à une de plus grande sous-section en termes d'ambitus, celle-ci énonçant le partiels 43 et la page suivante énonçant à la fois la fondamentale et le 51° partiel. À partir de la deuxième sous-section et jusqu'à la sixième, l'ambitus reste stationnaire entre l'intervalle formé autour de la fondamentale et le 50° partiel. À partir de la septième sous-section, le partiel le plus élevé tombe au 43° rang lorsque le premier inharmonique apparaît. Dans la sous-section suivante, cette tendance s'accélère pour atteindre, dans le chiffre 11, le 13° partiel comme le plus haut, et neuf inharmoniques.

Cela indique que la première section de partiels ne représente pas seulement une progression de l'harmonicité à l'inharmonicité, mais qu'elle reflète également une intention compositionnelle claire de transformer la texture de clairsemée à très étroite, tout en déplaçant simultanément l'ambitus vers le registre inférieur. De plus, il indique que le principal outil utilisé pour créer de l'inharmonicité au niveau de la hauteur était de fournir des battements de fréquence. Dans la dernière sous-section, nous avons une combinaison d'harmoniques et d'inharmoniques, ce qui renforce cet effet par rapport au cas où seulement les inharmoniques sont présentes.

La troisième analyse symbolique (Figure 4c) montre que le renforcement du deuxième partiel par le trombone et parfois la clarinette basse, le cor ou le violoncelle, est responsable de la sonorité puissante et éclatante du registre grave de la section. Le renforcement du deuxième partiel reste constant tout au long de la section. Tandis que

l'ambitus devient plus restreint, davantage de ressources sonores sont sollicitées pour le renforcer (cinq au total).

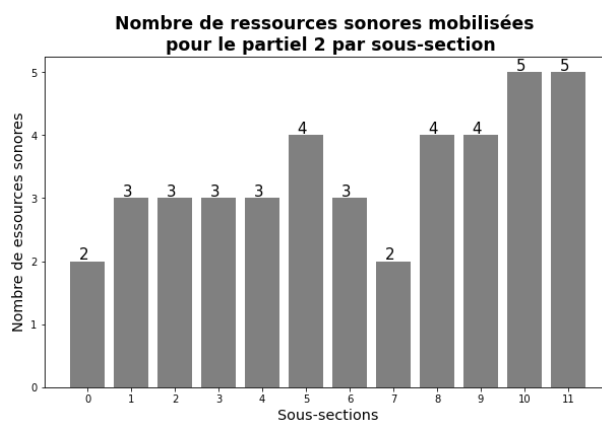


Figure 4c. Représentation graphique des données de l'analyse des descripteurs symboliques de la première section de *Partiels*.

Notre analyse des descripteurs symboliques met en évidence la nécessité de concilier des aspects variés et parfois opposés du matériau musical lorsqu'on travaille avec la SI.

3.4.2 Analyse Signal des deux enregistrements

Pour mieux comprendre la nature des résultats sonores engendrés par la SI, il est essentiel d'examiner comment la musique est interprétée et comment les prescriptions symboliques du compositeur visibles dans la partition deviennent du son. Si la SI est réellement capable de générer une sorte de perception hybride, l'analyse de la partition est nécessaire mais pas suffisante. C'est pourquoi notre approche vise à combiner des études symboliques, audio et, dans une étape future, d'écoute expérimentale.

Pour mener notre analyse de la composition de *Partiels* de Gérard Grisey, nous avons sélectionné deux enregistrements différents, deux des trois enregistrements cités plus haut (table 2 ; figure 3, lignes B et D). Ces enregistrements proposent des interprétations de l'œuvre qui présentent des solutions musicales différentes. En analysant ces deux enregistrements (et potentiellement 3 ou 4), nous cherchons à acquérir une compréhension plus profonde des choix musicaux issus des interprétations de l'œuvre de Grisey.

Nos premiers résultats quant à l'analyse comparée des signaux audios des deux enregistrements cités ci-dessus font l'objet de communications et publications séparées à venir⁶. Ces résultats tentent de répondre à l'objectif initial visant à mieux comprendre les phénomènes de fusion perceptive, ces "être[s] hybride[s]" pour notre perception, un son qui, sans être encore un timbre n'est déjà plus tout à fait un accord, sorte de mutant de la musique 'aujourd'hui, issu de croisements opérés

⁶ Cf. Micael Antunes, Mylène Gioffredo, Javier Elipe-Gimeno, Charles de Paiva, Samuel Poirot, Vincent Tiffon and Sølvi Ystad, "On the Perceptual Fusion in Grisey's *Partiels*: a Comparative Audio-Descriptor

Analysis of Two Recordings", *Timbre 2023*, 3rd International Conference on Timbre, Thessaloniki, Greece [présentation à venir : 10-12 juillet 2023].

entre les techniques instrumentales nouvelles et les synthèses additives réalisées par ordinateur” [9, p. 107].

Afin d'éprouver la fiabilité des analyses ci-dessus, nous suggérons une nouvelle étape de simulations des processus de SI via OpenMusic, avant d'entrer dans les tests d'écoute expérimentaux.

3.4. Travail en cours : simulations via OpenMusic

L'objectif de cette étape est d'explorer la technique de composition de la SI à l'aide du logiciel OpenMusic. Plus précisément, nous souhaitons générer des spectres arbitraires à partir d'un modèle donné, tester différentes approximations et stratégies pour l'inharmonicité, et analyser les résultats à l'aide de descripteurs ou de mesures symboliques. Enfin, nous prévoyons de comparer la sortie synthétisée avec la source originale et d'utiliser cette expérience pour concevoir un protocole expérimental impliquant des tests d'écoute.

Notre implémentation de la SI dans OpenMusic a nécessité la construction de plusieurs classes, objets et fonctions. La première étape a été de concevoir une classe pour représenter un "partiel" qui comprenait tous les paramètres détaillés dans le Tableau 2. Cette classe a servi de preuve de concept et nous a aidé à comprendre les exigences de la description d'une ligne ou d'un partiel dans une texture dérivée de la SI.

Ensuite, nous avons construit une deuxième classe appelée *Spectre* qui a hérité de tous les attributs de la classe *Partiels*. La classe *Spectrum* est essentiellement une collection de classes *Partiels*, ce qui permet de les ordonner de manière synchrone. L'intégration de cette classe aux éditeurs et bibliothèques d'OM a été bénéfique pour explorer la microtonalité et d'autres aspects.

En utilisant ces objets, nous avons pu simuler le spectre dans la pièce *Dérives* de Grisey, qui était la première ébauche de la SI et qui est antérieure à *Périodes*. Notre simulation du spectre de *Dérives* a révélé qu'il correspond à une série dodécaphonique lorsqu'il est considéré comme une collection de classes de hauteurs. Cependant, lorsqu'elles sont entendues dans leurs octaves respectives, les hauteurs fusionnent pour créer une perception de son harmonique.

Pour simuler la première section de la partition de *Partiels*, nous avons développé une série de méthodes pour modéliser les processus de distorsion du spectre observé dans la partition de Grisey. Nous avons expérimenté deux types de méthodes ou de fonctions : l'une qui transpose les partiels sélectionnés vers des octaves inférieures et l'autre qui les déforme proportionnellement en multipliant la fréquence par un facteur (similaire au processus utilisé par Tristan Murail dans *Désintégrations*).

L'un des défis auxquels nous avons été confrontés dans nos simulations informatiques était la gestion d'événements continus, tels que les changements de modes de jeu et les changements progressifs dans la dynamique des sons soutenus. Malgré la mise au point de solutions de contournement pour tenir compte de la microtonalité dans le protocole MIDI, le rendu des pages

les plus simples de la notation proportionnelle, qui font appel à des techniques étendues, s'est avéré être une tâche ardue, nécessitant de nombreux ajustements et solutions de contournement.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article présente les fondements d'une enquête sur la technique de la SI, laquelle est une adaptation de la synthèse additive utilisant des instruments orchestraux classiques pour créer de nouveaux sons. L'étude s'est concentrée sur l'analyse de la SI à travers une étude de cas de *Partiels* de Gérard Grisey, et nous avons montré des analyses basées sur des descripteurs symboliques tels que la densité des partiels par sous-section, le partiel de rang le plus élevé par sous-section, le nombre d'inharmoniques par sous-section, le partiel le plus renforcé, et les ressources sonores par partiel le plus renforcé. En outre, nous avons effectué une analyse temporelle de la première section, en segmentant les sous-sections (chiffres 1 à 11). Un modèle SI a été développé sur la base des informations extraites des partitions musicales, et des simulations potentielles ont été esquissées en utilisant OpenMusic et des échantillons orchestraux. Diverses approximations de fréquences réelles dans la série harmonique sont également en train d'être testées.

Au delà de contribuer au dépassement de l'écart entre musicologie computationnelle et traditionnelle par l'intégration des outils du traitement du signal et de la science expérimentale à la pratique musicologique [15], nous envisageons plusieurs types de retombées dans le champ de l'acoustique, du design et de la sonification : le développement de nouvelles stratégies de sonification intégrant des techniques issues de la musique spectrale et validées par les tests d'écoute du projet (comme par exemple la substitution de l'axe grave vs aigu par inharmonique vs harmonique, périodicité vs apériodicité, etc.) ; les enjeux autour de la communication non verbale et substitution sensorielle, en prenant appui sur le médium sonore ; la meilleure compréhension des processus de fusion acoustique, les frontières de fusion, les liens entre texture sonore et tension. Dans le champ des SHS, nous envisageons une réflexion sur la notion de dé-coïncidence [12] avec la notion de dissonance au sens large en considérant la musique contemporaine comme laboratoire d'une pratique de la poétique de la "dé-coïncidence". Enfin, nous envisageons des applications dans le champ de la clinique (priorisation des procédés valorisant l'écart, la discontinuité, chez les sujets pour lesquels l'activité de filtrage perceptif est inopérante).

5. ACKNOWLEDGMENTS

Ces travaux sont le produit d'une équipe interdisciplinaire au sein du laboratoire PRISM (UMR 7061) à Marseille, réunissant des musicologues (Charles de Paiva Santana, Javier Elipe-Gimeno, Vincent Tiffon, Mylène Gioffredo, Micael Antunes), des chercheurs dans le champ de la perception et des descripteurs audios (Sølvi Ystad, Samuel Poirot) et une psychologue (Laetitia Petit)

autour d'un projet appelé ANTISCOPE (Analyse transdisciplinaire de l'impact des stratégies compositionnelles de la musique spectrale sur la perception) : <https://www.prism.cnrs.fr/projet/antiscope/>

Le projet ANTISCOPE est lauréat de deux AAP : Financement PRISM (Appel à Projet Interdisciplinaire interne au laboratoire) ; Financement SEPIA (Appel à Projet MITI - Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires - du CNRS. Par ailleurs, l'IESM (Institut d'Enseignement Supérieur de la Musique, Aix-en-Provence) est également partenaire du projet, dans la phase d'enregistrement des tests perceptifs expérimentaux.

6. REFERENCES

1. « Grisey/Murail », *Entretemps* n°8, sept. 1989.
2. Barrière, J.-B. éd, *Le Timbre, métaphore pour la composition*. Bourgois/IRCAM, Paris, 1991.
3. Donin, N. « Sonic Imprints: Instrumental Resynthesis in Contemporary Composition ». In Gianmario Borio (ed.) *Musical Listening in the Age of Technological Reproducibility*, Farnham/Aldershot: Ashgate, 2014
4. Dufourt, H. « Musique spectrale », *Conséquences*, 7-8 (1985-1986), 111-115 (1^o éd., 1979).
5. Dufourt, H. *La musique spectrale : une révolution épistémologique*. Éditions Delatour, Sampzon, 2014.
6. Féron, F.-X., « Gérard Grisey: Première section de *Partiels* (1975) », *Genesis*, 31, 2010, 77-97. <https://doi.org/10.4000/genesis.352>
7. Féron, F.-X. « Le son d'une voix (1964) by François-Bernard Mâche: the introduction of the Sona-Graph in the composer's workshop ». *Tracking the Creative Process in Music*, Oct 2019, Lisbonne, Portugal. halshs-02427028
8. Grisey, G. « À propos de la synthèse instrumentale », *Écrits* (2e édition). Éditions MF, Paris, 2019.
9. Grisey, G. « La musique : le devenir des sons », *Écrits* (2e édition). Éditions MF, Paris, 2019.
10. Grisey, G. *Partiels* (1975). Ricordi, Milan, n° 132423.
11. Hasegawa, R. « Timbre as harmony—harmony as timbre », In E. I. Dolan & A. Rehding (Eds.), *The Oxford handbook of timbre* (1st ed., 525–551). Oxford University Press, Oxford, 2021. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190637224.013.11>
12. Julien, F.. *Dé-coïncidence. D'où viennent l'art et l'existence*, Grasset, Paris, 2017.
13. Murail T. *Désintégrations* (1982). Lemoine, Paris, n° 28227.
14. Orcalli, A. « La pensée spectrale », in *Théories de la composition musicale au xx^e siècle*, Nicolas Donin, Laurent Feneyrou (dir.), 1511-1574, 2014.
15. Schaub, S., Simurra, I., Fernandes Tavares, T. « Mixing symbolic and audio data in computer assisted music analysis a case study from J. Harvey's speakings (2008) for orchestra and live electronics », *Proceedings of Sound and Music Computing Conference*, 2013.
16. Wilson, P. N. « Vers une écologie des sons », *Entretemps*, n°8, septembre 1989.