Notes sur la notion d' "émergence" et sur Agostino Di Scipio

Makis Solomos

▶ **To cite this version:**

Makis Solomos. Notes sur la notion d' "émergence" et sur Agostino Di Scipio. Antonia Soulez, Horacio Vaggione (éd.). Manières de faire des sons, L'Harmattan, p. 83-100, 2010. hal-00770207

HAL Id: hal-00770207
https://hal.science/hal-00770207

Submitted on 7 Jan 2013

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.

Notes sur la notion d'« émergence » et sur Agostino Di Scipio

Makis Solomos

in Antonia Soulez, Horacio Vaggione (éd.), *Manières de faire des sons*
Paris, L'Harmattan, 2010, p. 83-100.

Abstract. Agostino Di Scipio est un compositeur et théoricien italien, né en 1962, dont la notoriété va en s'accroissant, notamment dans les milieux de la musique numérique. Une des particularités de sa pensée musico-théorique réside dans la place qu'elle accorde à la notion d'émergence. Cet article traitera de cette notion, en faisant également quelques références à certains écrits de Varela. On distinguera trois aspects de la question : 1) une conception particulière de la forme musicale (macro-forme), pensée comme émergence ; cet aspect est lié au paradigme du granulaire et à l'utilisation de systèmes dynamiques non linéaires ; 2) le travail sur des écosystèmes, c'est-à-dire sur des systèmes autonomes intégrant l'environnement ; ici, c'est la musique même qui devient émergence ; 3) la relation à l'auditeur, dernier facteur décisif de l'émergence, qui nous mène à l'idée que la musique consiste en un « faire-émerger » fondant une communauté musicale.

INTRODUCTION

Le présent article[1] propose une brève réflexion, autour du compositeur italien Agostino Di Scipio[2], sur la notion d'*émergence*. Cette notion, comme on le sait, a été élaborée par les sciences cognitives à partir de la fin des années 1970. Du côté de la musique, on parle couramment de « propriétés émergentes » en psychologie cognitive [Bregman, 1990 : 138-139]. Cette notion est encore relativement peu utilisée dans la théorie musicale. Quant à la musicologie esthétique et analytique, à laquelle appartient l'auteur de ces lignes, pour elle, le sujet reste encore bien mystérieux et intrigant ! C'est pourquoi cet exposé devra parfois revenir aux sources, c'est-à-dire aux sciences cognitives, qui seront explorées à travers la lecture de certains textes de Francisco Varela [Varela, 1989, 1996 ; Benkirane, 2002].

En sciences cognitives, le développement de la notion d'émergence est souvent mis en relation avec le développement, dans d'autres disciplines des sciences dures, des théories du

---

[1] Une première version de cet article a été publiée *in* Anne Sedes, Horacio Vaggione (éd.), *12e Journées d'Informatique Musicale 2005*, Paris, Université Paris 8 – CICM – MSH Paris Nord – Afim, 2005, p. 101-109. Je remercie Antonia Soulez et Agostino Di Scipio pour leur lecture critique de la présente version.

[2] Né en 1962, Agostino Di Scipio jouit d'une notoriété importante, notamment dans les milieux de la musique numérique. Son catalogue comprend quelques pièces purement instrumentales et quelques autres pour instrument et support fixe, de nombreuses œuvres sur support fixe et de nombreuses autres pour instrument et électronique en direct, des solos pour électronique en direct, quelques installations sonores et quelques réalisations proches du théâtre musical – je me base sur la classification du catalogue établi par le compositeur et rédigé en anglais ; « support fixe » traduit *tape* (bande), « électronique en direct » (expression utilisée couramment par Horacio Vaggione) traduit *live electronics*. Di Scipio a également de nombreuses publications à son actif, théorisant ou analysant son travail compositionnel et technologique [Di Scipio 1994, 1999a, 1999b, 2005], portant sur le répertoire déjà historique de la musique électroacoustique (sur Xenakis [Di Scipio 1997, 1998a, 2001], mais aussi sur d'autres compositeurs [Di Scipio 2000a, 2000b]), proposant une réflexion esthétique sur la technologie [Di Scipio 1998b, 2000c], etc.

chaos, des systèmes dynamiques, etc., qui eut lieu à partir de la fin des années 1970 : « Émergence. Événement qui semble en discontinuité avec les événements antérieurs et qui n'est pas expliqué par ses constituants », lit-on dans un dictionnaire récent des sciences cognitives [Tiberghien, éd. (2002) : 166], qui renvoie à : « Système dynamique. Système dont l'état présent dépend des états précédents et d'un certain nombre d'autres paramètres qui peuvent, ou non, aussi varier avec le temps. Synonyme : chaos » [*ibid.* : 289]. Cette première origine de la notion d'émergence résonne clairement pour les musiciens, qui ont souvent été fascinés par les théories du chaos à partir du milieu des années 1980 – on verra qu'il en va ainsi pour Di Scipio. Une seconde origine a longuement été analysée par Varela [Varela, 1996], selon lequel la notion d'émergence constitue le second grand paradigme des sciences cognitives, s'opposant au paradigme computationnel. Ce dernier a dominé les premières sciences cognitives (années 1950-70) et il est loin encore d'être détrôné. Le computationnalisme se fonde sur l'idée que le cerveau fonctionnerait comme un ordinateur : d'une part, il s'agirait d'un système de traitement de l'information ; d'autre part, le calcul porterait sur des symboles, ce qui signifie que le support (physique) et le sens ne seraient liés que par conventions. Le paradigme de l'émergence, lui, s'inspire du réseau neuronal, ce qui entraîne l'idée d'un fonctionnement sub-symbolique : le niveau « supérieur » (l'intelligence, le sens, etc.) *émergerait* du réseau lui-même. C'est pourquoi Varela est l'un des pionniers de la notion d'« autopoïèse » et, plus généralement, de la notion de systèmes autonomes dont l'auto-organisation conduirait à l'émergence [Varela, 1989]. L'historicisation des sciences cognitives proposée par Varela est guidée par le fait qu'il s'est fait l'avocat d'un troisième paradigme, plus fragile, semblerait-il, car minoritaire : l'*embodied cognition*. La traduction « cognition incarnée » posant quelques problèmes, on parle plus volontiers de « cognition enactive » (ou « énactive ») [Benkirane, 2002 : 171-174]. L'approche de l'enaction effectue un lien important avec la phénoménologie, qui permet en quelque sorte de préciser l'idée de l'émergence d'un second niveau : elle affirme que « l'esprit n'est pas autre chose que le corps en mouvement ». *Caminante non hay camino, se camino al andar* (« il n'y a pas de chemin, le chemin se fait en marchant », dans une traduction approximative) écrivait le poète Machado, que cite Varela, mais que citait aussi régulièrement, pour revenir à la musique, Luigi Nono…

Pour revenir donc à la musique, c'est-à-dire à Agostino Di Scipio, le présent essai propose l'étude de trois aspects de sa musique et de ses écrits par rapport à la notion d'émergence. Le premier est le plus proche des intuitions d'un musicien : il concerne l'idée que la forme musicale (la macro-forme), peut se concevoir dans les termes de l'émergence d'un second niveau, ce qui signifie donc que la musique ne nécessiterait pas une « double articulation » clairement marquée. Dans cet aspect, l'émergence est fortement liée à sa première origine, c'est-à-dire aux systèmes dynamiques. Le second aspect traite d'« écosystèmes ». Il renvoie à l'idée de systèmes autorégulés intégrant leur environnement : à l'occasion de certaines œuvres musicales, Di Scipio postule que l'espace concret (le lieu) fait partie de la musique à composer. Surtout, cet aspect fait de la musique même une émergence. Ici, les propos de Varela pourront s'avérer utiles. Dans le troisième et dernier aspect, le plus prospectif et qui concerne, entre autres, l'écoute, sera tenté un lien avec l'approche de l'enaction qui, après l'évacuation de la notion de symbole que mettait en œuvre le paradigme de l'émergence, propose de se départir de la notion de représentation : nous y

verrons que la musique de Di Scipio peut s'interpréter comme un « faire-émerger », en tant qu'expérience fondant une communauté (musicale)[3].

LA FORME COMME ÉMERGENCE

Di Scipio s'inscrit dans la tradition du « granulaire », une tradition déjà longue et riche, qui comprend des compositeurs aussi différents que Xenakis ou Vaggione[4]. Eu égard à cette tradition, il possède de nombreuses spécificités. Sa musique introduit un équilibre délibérément instable entre silence et grains : ces deniers semblent émerger du premier et vice-versa. Ou encore, au niveau local, elle se caractérise par la quasi-impossibilité de délimiter des morphologies sonores : non seulement le matériau semble totalement éthéré, c'est-à-dire gazeux – pour faire un jeu de mots à partir de la métaphore qui permit à Xenakis d'introduire la notion de masse : la « parabole des gaz » [Xenakis, 1958 : 18-19], comme s'il était composé de « poussière » ; en outre, dans la mesure où les silences ne servent pas nécessairement à délimiter des formes sonores, mais peuvent en faire partie, on ne sait jamais où commence et où finit une morphologie. On peut alors se poser la question : y a-t-il un matériau, un ensemble de formes sonores dans ses compositions ? La réponse pourrait être : certes, il y a une forte spécificité du matériau chez Di Scipio, mais son insaisissabilité montre bien qu'il serait impossible de distinguer forme sonore et forme tout court ou, pour employer la terminologie qui s'est imposée dans la tradition du granulaire, micro- et macro-forme (micro- et macro-temps [cf. Vaggione, 1996, 1998]. On sait qu'une large partie de la musique d'après 1945 s'est évertuée à dépasser le fossé entre matériau et forme, et que la tradition du granulaire y a largement contribué. Cependant, les deux compositeurs précédemment mentionnés l'ont volontairement maintenue, le premier (Xenakis) très clairement par une optique constructiviste [cf. Solomos, 2005a], le second (Vaggione) plus subtilement par le biais d'un certain organicisme [cf. Solomos, 2005b]. Di Scipio nous offre en quelque sorte une radicalisation, peut-être un retour aux sources. Chez lui, seuls les grains (et le silence) semblent exister, il n'y a pas de macro-forme surajoutée à la micro-forme. Plus exactement : si macro-forme il y a, elle se dégage, lors d'une écoute attentive, comme un fil ténu que l'écoute suivante tentera en vain de suivre car alors un nouveau fil ténu aura été découvert. Faire l'expérience auditive d'une pièce de Di Scipio, c'est faire une expérience tout court : on ne peut la réitérer. Bien entendu, cette comparaison vaut pour toute musique, mais peut-être dans une moindre mesure : chez Di Scipio, la fluidité de la macro-forme repose sur une volonté compositionnelle. Car le compositeur italien élabore l'hypothèse que la macro-forme n'a pas à être construite : qu'elle devrait émerger de la micro-forme. Et, pour ce faire, il s'en donne les moyens.

---

[3] Si l'étude qui suit se référera d'une manière substantielle à des écrits de Di Scipio, il faut noter que le cheminement proposé, la mise en relation avec Varela, les problématiques soulevées, etc., n'engagent que l'auteur de ces lignes. Notons également que Di Scipio se réfère parfois à Varela : cf. Di Scipio [2003 : 277].

[4] Di Scipio [1998c] se penche sur la première grande époque de cette tradition, de Gabor aux premières implémentations informatiques.

Sans entrer dans les détails, on peut partir de sa critique du granulaire chez Xenakis [Di Scipio, 1997, 2001]. Di Scipio s'est particulièrement intéressé à *Analogique A et B* (1958-59), souvent considérée comme la première pièce véritablement granulaire (même s'il y a le précédent de *Concret PH*, 1958). En effet, au tout début du chapitre que lui consacre *Musiques formelles*, Xenakis théorise sa volonté musicale dans ces termes : « Tout son est une intégration de grains, de particules élémentaires sonores, de quanta sonores. […] Donc : tout complexe sonore est analysable en séries de sons purs sinusoïdaux […] Des hécatombes de sons purs sont nécessaires à la création d'un son complexe […] » [Xenakis, 1963 : 61]. Il émet donc l'hypothèse de l'émergence d'une « sonorité de second ordre ». À propos d'*Analogique A* (pièce instrumentale où les grains sont joués par des cordes), il reste prudent : « Une réalisation avec des instruments classiques ne saurait en aucun cas, en raison des limites humaines de jeux, donner des trames dont le timbre puisse être de nature différente de celui des cordes. L'hypothèse donc d'une sonorité de deuxième ordre ne pourra dans ces conditions se trouver ni confirmée ni infirmée » [*ibid.* : 122]. Sur le résultat d'*Analogique B* (pièce pour bande, où les grains sont des sons sinusoïdaux), il ne se prononce pas, mais on peut supposer qu'il en fut insatisfait, puisqu'il ne réitéra pas l'expérience. Di Scipio se penche sur les raisons de cet échec, mais en décalant légèrement la problématique : « Aujourd'hui, les sciences cognitives et l'épistémologie décriraient probablement l'hypothèse de sonorités de second ordre comme une question de *propriétés émergentes* de la structure sonore »[5], écrit-il [Di Scipio, 2001 : 72], en citant Bregman et en concluant : « En bref : la possibilité de sonorités de second ordre découle de la composition d'unités sonores minimales, qui sont faites pour fusionner dans une image audible holistique »[6] [*idem*]. De là, il peut passer à la question de l'émergence : « Dans ce cas [à propos d'*Analogique B*], la distinction entre un modèle d'articulation et un modèle de son composé [*sound design*] peut difficilement se faire, dans la mesure où l'action du compositeur revient à laisser la structure musicale (niveau macro) émerger du son lui-même et de son organisation interne (niveau micro) »[7] [Di Scipio, 1997 : 165]. Pour analyser l'échec d'*Analogique A et B* – qui n'est donc plus seulement l'échec de la fusion des grains, mais celui de l'émergence en question –, Di Scipio pointe le mode de construction : la stochastique : « On pourrait se demander si la stochastique fournit véritablement de bons moyens pour que des sonorités d'ordre supérieur émergent du comportement basique [*ground-level pattern*] d'unités sonores minimales »[8] [Di Scipio, 2001 : 73/79].

Énoncée autrement, on pourrait dire que cette critique pointe le fait que l'émergence établit, à sa manière, un *ordre*. C'est pourquoi elle ne peut se produire avec les outils du désordre maximal (la stochastique). Aussi, Di Scipio fera appel aux théories qui

---

[5] « Today cognitive scientists and epistemologists would probably describe the hypothesis of 2nd-order sonorities as a question of *emergent properties* of sound structure ».

[6] « In short: the possibility of 2nd-order sonorities stems from the composition of minimal sonic units, which are made to coalesce in a holistic audible image ».

[7] « In this case [concerning *Analogique B*], the distinction can hardly be made between a model of musical articulation and a model of sound design, insofar as the composer's action is meant to let the musical (macro-level) structure emerge from sound itself and its internal organisation (micro-level) ».

[8] « One may ask whether the stochastic does really provide as good a means for higher-ordrer sonorities to emerge from a ground-level pattern of minimal sonic units ».

bouleversèrent le clivage traditionnel ordre/désordre, en introduisant une sorte de continuité entre ces deux extrêmes : les théories du chaos. « Dans toute situation systémique, les propriétés émergentes semblent exiger plus un *ordre chaotique* vivant qu'un *désordre* statiquement *organisé* »[9] [Di Scipio, 2001 : 83]. Le compositeur italien s'est intéressé au chaos dès la fin des années 1980 [cf. Anderson, 2005], explorant la synthèse granulaire avec des systèmes dynamiques non linéaires. Ceux-ci lui permettent « [d'] exploiter [… une large] palette d'arrangements de grains, allant de textures aléatoires à des textures aux motifs plus déterminés [*more patterned textures*], en passant par une variété d'autres comportements »[10] [Di Scipio in *ibid.*]. « Le chaos et la dynamique des systèmes complexes, tels que rendus accessibles par des processus numériques itératifs, représentèrent pour moi une manière de composer de petites unités sonores de telle sorte qu'une sonorité d'ordre supérieur puisse se manifester d'elle-même durant le processus »[11], ajoute-il. [Di Scipio in *ibid.*].

J'ai noté que Di Scipio, dans sa critique de Xenakis, avait légèrement transformé le propos implicite (tel que formulé dans *Musiques formelles*) de ce dernier, passant insensiblement de la question des sonorités de « second ordre », qui sont pour Xenakis des « sons complexes », à la question de l'émergence de la macro-forme. Cette remarque n'est nullement à prendre sur le ton acerbe d'un xenakien orthodoxe ! Le propos est de clarifier les choses, en constatant que Di Scipio vise et parvient à évacuer totalement tout ce qui pourrait être le propre de la macro-forme, par conséquent, tout ce qui ne pourrait pas se présenter en termes d'émergence. Par exemple, en principe, on ne trouvera pas chez lui de gestes, d'intention dramatique, etc. Bien sûr, la forme continue à être « composée ». Ainsi, il travaille parfois en délimitant globalement le déroulement de l'œuvre d'une manière arbitraire : *Due di Uno* possède dix sections [cf. Di Scipio, 2005], le troisième des *Paysages historiques* en possède huit, etc. Mais, comme dans le premier Cage, qui délimitait des sections avec des nombres de mesures, cette construction est secondaire, elle constitue juste un cadre. Chez Di Scipio, l'ambition est claire : assimiler la macro-forme à un second niveau qui émergerait sans médiations du niveau élémentaire. D'où, dans un de ses premiers articles [Di Scipio, 1994], l'élaboration d'une théorie, la « théorie de l'émergence sonologique » (*Theory of sonological emergence*), où la forme est conçue comme « formation du timbre ». Dans cet écrit, Di Scipio part du constat que la musique électroacoustique historique a vécu sur un clivage : la composition algorithmique d'une part, la composition de timbre d'autre part. Pour la première, « les sons sont des symboles manipulés par des règles explicites, restant ainsi à la périphérie de la tâche compositionnelle »[12] [*ibid.* : 203-204], alors que la seconde se heurte parfois au problème de la forme ; la première a pour propos de composer *avec* les sons, la seconde cherche à composer *le* son. La théorie qu'il propose tente de les unifier en s'efforçant

---

[9] « In all systemic situations, emergent properties seem to require more a lively *chaotic ordre* than a statically *organized disorder* ».

[10] « [to] exploit [… a large] palette of grain arrangements, ranging from random to more patterned textures, across a variety of other behaviours ».

[11] « Chaos and the dynamics of complex systems, as accessible with iterated numerical processes, represented for me a way to compose small sonic units such that a higher-level sonority would manifest itself in the process ».

[12] « sounds are symbols manipulated by explicit rules, thereby remaining outside the focus of the compositional task ».

« de déterminer une organisation quantitative basique du système ou du processus, capable de faire émerger [*bringing forth*] un système ou un processus de niveau "meta", aux propriétés qualitatives, morphologiques particulières »[13] [*ibid.* : 205]. Dans cette logique, les « résultats sonores de la composition » sont appréhendés comme la forme musicale, « mais selon un sens particulier, où le *timbre* – les propriétés qualitatives émergentes de la structure sonore – peut être conçu comme *forme*. Ainsi, […] la forme peut être décrite comme un *processus de formation du timbre* »[14] [*idem*]. L'article se poursuit avec une description des outils à même de mettre en œuvre cette théorie, et qui consistent en une implémentation de modèles provenant de systèmes dynamiques non linéaires.

LA MUSIQUE COMME ÉMERGENCE

La « théorie de l'émergence sonologique » insiste sur le fait qu'elle est à même d'envisager l'émergence parce qu'elle élabore des types de systèmes proches des systèmes vivants, qui sont caractérisés par la capacité d'auto-organisation : « Le passage d'un système ou d'un processus d'une organisation structurelle donnée à un nouvel état d'ordre reconnu comme fonction des propriétés qualitatives de celle-ci est ce que nous nommons ici un phénomène d'émergence […]. Des phénomènes similaires peuvent être décrits selon des règles de *morphostase* (conservation de la cohérence, de l'identité) ou de *morphogenèse* (comportement dynamique, changement), qui, ensemble, saisissent la particularité principale de systèmes sociaux et vivants : l'auto-organisation »[15] [Di Scipio, 1994 : 206]. Pour s'assurer de l'auto-organisation dans un domaine où cette idée ne va pas de soi – le son ou la musique ne sont pas « vivants » –, Di Scipio pratique une « causalité circulaire » [Di Scipio *in* Anderson, 2005] (ou récursivité), qui élargit la notion de *feedback*. Ainsi, dans *Codice d'impulsi (su legno)*, le jeu du percussionniste non seulement fournit le matériau sonore, mais il agit également comme un code de programme qui définit l'état interne de l'ordinateur, lequel à son tour transforme le matériau [Anderson, 2005]. Ou encore, dans *Due di Uno*, les sons instrumentaux, qui sont transformés par l'électronique, servent aussi d'entrée pour contrôler ces transformations[16]. Ce type de travail va dans le sens d'une redéfinition de la notion usuelle, en musique avec dispositif électronique en direct, de la notion d'interaction. Un article récent de Di Scipio [2003] éclaire sa conception de l'interaction. Dans le modèle le plus commun de l'interaction en direct, l'interaction est surtout comprise comme un flux d'information : une source sonore est transformée. En quelque sorte, le système agent +

---

[13] « to determine a ground-level system's or process' quantitative organisation capable of bringing forth a meta-level system or process of peculiar qualitative, morphological properties ».

[14] « sounding results of composition » … « but in the special sense in which *timbre* – the qualitative emerging properties of the sonic structure – can be conceived as *form*. Thus […] form can be described as a *process of timbre formation* ».

[15] « The passage of a system or process from a given structural organisation to a new state of order which is recognised as a function of the qualitative properties of the former, is what we call here a phenomenon of emergence […]. Similar phenomena can be described with rules of *morphostasis* (conservation of coherence, identity) and *morphogenesis* (dynamical behavior, change), which together capture the main peculiarity of social and living systems : self-organisation ».

[16] Di Scipio [2005] donne une description détaillée de cette pièce.

dispositif est peu interactif ! [*ibid.* : 270]. Ou encore, on peut dire que le paradigme musical sous-jacent y est celui du jeu instrumental, l'agent étant le musicien, le dispositif, l'instrument : le compositeur se souciant uniquement du *résultat* (sonore) [*ibid.* : 269]. Selon Di Scipio, la composition pourrait au contraire consister à *composer les interactions* – le résultat, lui, n'étant pas ce qui est composé directement. On aurait alors un système véritablement interactif : dans ce type de système, « un objectif primordial serait de créer un *système dynamique* possédant un comportement adaptatif aux conditions extérieures environnantes, et capable d'interagir avec les conditions extérieures elles-mêmes. […] Une sorte d'*auto-organisation* est ainsi accomplie […] Ici, l'"interaction" est un élément structurel pour que quelque chose comme un "système" puisse émerger […] Les interactions du système seraient alors implémentées seulement d'une manière *indirecte*, elles seraient les produits secondaires d'interdépendances soigneusement planifiées entre les composants du système […]. On s'écarte ainsi d'une manière substantielle de la composition musicale interactive pour aller vers la composition d'interactions musicales ; peut-être pourrions-nous parler, pour être plus précis, du *passage de la création de sons voulus selon des moyens interactifs à la création d'interactions voulues laissant des traces audibles* »[17] [*ibid.* : 271]. Ce travail est à l'origine d'un ensemble de pièces pour solo d'électronique en direct, les *Audible Ecosystemics*. Dans ce qui vient d'être dit, on aura compris que la notion de *processus* est décisive : ce dernier est plus important que le résultat – et que l'origine également.

L'insistance de Di Scipio sur les processus et interactions composés est certainement d'ordre moral : la fin ne justifie pas les moyens, semble-t-il nous dire – plus généralement, il s'agit d'une réflexion de nature politique sur la technologie, qu'on prend bien souvent pour un moyen quelconque, un sujet qu'on ne pourra pas aborder ici [cf. Di Scipio, 1998b, 2000c][18]. Eu égard à notre sujet, cette insistance est ce qui permet de rendre « vivant » un système, de le considérer comme auto-régulé et, par conséquent, d'escompter l'émergence. À propos de *5 interazioni cicliche alle differenze sensibili*, Di Scipio écrit : « La musique […] émerge des interactions composées entre les […] composants […]. Par "interactions composées", je veux dire que, ici, l'interaction n'est pas le moyen de la performance […]. Elle constitue plutôt l'objet lui-même de la composition. L'œuvre en tant que telle reflète une notion de "forme sonore" à caractère cybernétique, ou *systémique* : la musique constitue la structure de second ordre ou l'épiphénomène qui émerge d'un réseau de relations structurelles cachées »[19] [Di Scipio, 1999b].

---

[17] « a principal aim would be to create a *dynamical system* exhibiting an adaptive behaviour to the surrounding external conditions, and capable to interfere with the external conditions themselves. […] A kind of *self-organisation* is thus achieved […]. Here, "interaction" is a structural element for something like a "system" to emerge […]. System interactions, then would be only *indirectly* implemented, the by-products of carefully planned-out interdependencies among system components […]. This is a substantial move from interactive music composing to composing musical interactions, and perhaps more precisely it should be described as *a shift from creating wanted sounds via interactive means, towards creating wanted interactions having audible traces* ».

[18] Sur l'aspect politique de la musique de Di Scipio, cf. Solomos [2005c].

[19] « The music […] emerges from composed interactions among the […] components […]. With "composed interactions" I mean that here interaction is not the medium of performance […]. Rather it is the object itself of

Sur ce point, un parallèle avec les idées de Varela autour de la question de l'*autonomie* peut être intéressant. Celui-ci critique la conception du cerveau donnée par le paradigme computationnel, pour qui ce dernier, dans son contact avec le monde, fonctionnerait comme un système de traitement de l'information. Ce point de vue, dont l'origine est l'ordinateur conçu comme machine universelle à résoudre des problèmes, est le point de vue de la « commande » (ou de l'allonomie) : le cerveau serait une boîte noire avec entrée, transformations et sortie. Le point de vue de l'autonomie postule au contraire que le cerveau interagit en permanence avec l'extérieur [Varela, 1989 : 7-16]. Par exemple, la vision ne consiste pas à recevoir séquentiellement des informations : la région du thalamus voit passer bien plus de choses qui viennent du cerveau que de la rétine – « le comportement du système entier ressemble à une bruyante conversation de cocktail plus qu'à une suite de commandements » [Varela, 1996 : 75]. Penser l'ensemble des interactions entre cerveau et monde comme un système autonome revient à éliminer les notions d'entrée et de sortie, l'essentiel étant le comportement du système, à même de conduire à l'émergence : dans un tel système, « chaque constituant fonctionne seulement dans son environnement *local* de sorte que le système ne peut être actionné par un agent extérieur qui en tournerait en quelque sorte la manivelle. Mais grâce à la nature transformationnelle du système, une coopération *globale en émerge* spontanément » [Varela, 1996 : 61].

Les systèmes autonomes (ou autopoïétique) de Varela émettent l'hypothèse qu'on ne peut séparer le système de son environnement : ce dernier fait partie du premier ; l'émergence en question est liée au fait que les interactions et leurs transformations « constituent le système en tant qu'unité concrète dans l'espace où il existe, en spécifiant le domaine topologique où il se réalise comme réseau » [Varela, 1996 : 45]. Sur ce point, on peut revenir à la musique de Di Scipio, dont l'une des originalités les plus fortes est d'avoir développé, dans certaines œuvres, l'idée d'un « écosystème ». Ainsi, dans ses *Audible Ecosystemics*, le lieu de la performance est étroitement associé au système d'interactions composées. Par exemple, la troisième pièce, *Background Noise Study*, ne comprend comme matériau sonore que le bruit de fond de la salle où a lieu la performance [Anderson, 2005]. Dans l'ensemble des pièces formant les *Audible Ecosystemics*, l'écosystème consiste en une interaction triangulaire entre l'acoustique du lieu de la performance (qui inclut bien entendu le public), le musicien et des patches DSP[20]. Les *5 interazioni cicliche alle differenze sensibili* sont aussi marquées par cette direction. La version « installation » de la pièce, nommée *Install Qrtt*, propose une interaction entre quatre éléments : un quatuor à cordes, une musique sur support fixe, un ordinateur interagissant avec les deux premiers éléments *et* l'« ambiance », c'est-à-dire les sons variés de l'espace physique où se déroule la performance [Di Scipio, 1999b].

Concernant cette question de l'environnement, Di Scipio a intégré dans son travail certains aspects des musiques environnementales telles que développées chez des compositeurs canadiens [cf. Truax, 1995]. Cependant, son propos se centre sur la notion d'écosystème et il se distingue donc de cette tradition. En outre, cette notion lui permet un travail original sur la question de l'espace. On sait que, dans la musique instrumentale ou

---

composition. The work as such reflects a cybernetic, or *systemic*, notion of "sound form" : music is the 2nd-order structure, or epiphenomenon, emerging from a web of hidden, structural relationships ».

[20] Pour une description détaillée, cf. Di Scipio [2003 : 272-275].

électroacoustique, l'espace est souvent considéré en termes de spatialisation, c'est-à-dire de « voyage », où compte plus le « trajet » que l'espace concret et ses qualités. Selon cette approche, l'espace est virtuel [cf. Solomos, 1998]. Dans l'approche écosystémique de Di Scipio, l'espace ne peut être que concret. Dans les *5 interazioni cicliche alle differenze sensibili*, écrit-il, « je ne suis pas intéressé par la création d'un espace "virtuel" quelconque. […] Je préfère bien plus me centrer sur l'espace concret, matériel, historique (salle, chambre, lieu ouvert, etc.) accueillant la performance […], essayant de pousser le vrai espace laisser des traces audibles de lui-même sur la forme du son, sur le timbre. Il s'agit d'une manière de faire l'expérience de l'espace qui, je pense, est moins idéologique, et qui contraste avec la notion de "réalité virtuelle" »[21] [Di Scipio, 1999b]. Dans les *Audible Ecosystems*, l'espace agit à la fois comme excitateur et comme caisse de résonance : l'idée est encore poussée plus loin. Ceci entraîne un rôle particulier accordé au bruit. Pour simplifier, on dira que le bruit n'est plus perturbation (musique traditionnelle) ou nouveau matériau à transformer (musique contemporaine). Il devient l'un des agents de l'interaction, puisqu'il émane de l'espace concret – le lieu, l'environnement –, qui fait intégralement partie du système. Dans les *Audible Ecosystems*, « le rôle du *bruit* est crucial […]. Le bruit est le milieu [*medium*] lui-même où un système à génération sonore est situé, il constitue, strictement parlant, son *ambiance*. En outre, le bruit est l'énergie fournie grâce à laquelle un système auto-organisé peut se maintenir et se développer »[22] [Di Scipio, 2003 : 271].

Un autre but décisif du travail sur des processus et interactions composés réside dans l'élaboration d'une stratégie *sub-symbolique* de la musique. La « théorie de l'émergence sonologique » va déjà dans ce sens : Di Scipio y escompte l'émergence d'un niveau supérieur en travaillant précisément sur des grains, des échantillons, des éléments qui ne constituent pas des symboles, car ils se situent à un niveau inférieur [cf. Di Scipio, 1994 : 207]. Le travail sur des processus et interactions composés amplifie cette attitude. Di Scipio y travaille sur des interactions entre *signaux sonores* : tous les échanges d'information sont de nature purement sonore [Di Scipio, 2003 : 272]. Cette stratégie musicale découle de la nature même du paradigme de l'émergence. Le parallèle avec les sciences cognitives – telles que décrites par Varela – s'impose à nouveau. À la question « Qu'est-ce que la cognition ? », le computationnalisme répond : « Le traitement de l'information : la manipulation de symboles à partir de règles » [Varela, 1996 : 42], alors que le paradigme de l'émergence répond : « L'émergence d'états globaux dans un réseau de composants simples » [*ibid.* : 77]. Au niveau musical, l'enjeu a déjà été énoncé à propos de la tradition du granulaire : si l'on veut que le niveau supérieur, celui de la macro-forme, se présente comme une émergence et non comme une construction indépendante, on ne doit travailler que sur le niveau inférieur, délaissant le niveau intermédiaire constitué de symboles. Plus encore, il s'agit de récuser la

---

[21] « I'm not interested in creating any "virtual" space. […] I much prefer to focus on the concrete, material, historical space (hall, room, open place, etc.) hosting the performance […], in an attempt to make the real space leave audible traces of itself within the form of the sound, within timbre. This is a way of experiencing space which, I think, is less ideologized and contrasts the notion of "virtual reality" ».

[22] « the role of *noise* is crucial […]. Noise is the medium itself where a sound-generating system is situated, strictly speaking, its *ambience*. In addition, noise is the energy supply by which a self-organising system can maintain itself and develop ».

dichotomie du sens et de son support, propre à la notion de symbole, et de postuler leur indissociabilité.

Processus et interactions composés, écosystèmes, stratégie sub-symbolique : tous ces points convergent. Qu'est-ce que la musique ?, nous demande Di Scipio. Est-ce un résultat sonore ? Non, répond-il, puisque c'est le processus qui est à composer et non le résultat. Est-ce un geste volontaire (d'un ou de plusieurs êtres humains, le compositeur et les interprètes) ? Pas seulement, puisque l'environnement en fait partie. Est-ce un langage (où la médiation du symbole impose une dichotomie entre le support et le sens) ? Non… Pour la musicologie historique, la position de Di Scipio est particulièrement intéressante car elle combine plusieurs tendances de l'après 1945 : le paradigme granulaire déjà évoqué, qu'il radicalise dans sa stratégie sub-symbolique ; le refus de concevoir la musique comme langage ; la pensée du processus que l'on retrouve sous des formes diverses du sérialisme à la musique spectrale ; l'ouverture cagienne (*4'33''*) à l'environnement ; etc. Son propos original est que tout cela converge vers une hypothèse : la musique *elle-même* constitue une émergence : « Pour moi, la musique est quelque chose qui n'a pas d'existence préalable, mais qui finalement se produit, quelque chose qui est toujours à réaliser, à renouveler chaque fois ; elle n'est jamais quelque chose qui est là, déjà existante et délimitée dans une forme idéale ou virtuelle, qui se prête à être re-présentée, ré-incarnée. En bref, je ne compose pas la musique elle-même, mais les conditions favorables qui pourront donner naissance à de la musique (*ma* musique). La responsabilité des actions à commettre (pour composer, pour jouer, pour écouter) a autant d'importance que les objets à faire (à composer, à jouer, à écouter) », écrit-il [Di Scipio, 2005].

FAIRE-ÉMERGER UNE COMMUNAUTÉ MUSICALE

Pour que la musique elle-même soit émergence, un dernier élément doit être pris en compte dans la composition conçue désormais comme composition d'interactions : l'auditeur. C'est bien le cas dans les écosystèmes que met en œuvre Di Scipio dans certaines de ses pièces. Ainsi, dans la version installation (*Install Qrtt*) des *5 interazioni cicliche alle differenze sensibili*, « le public participant à la performance complète […] n'a pas à s'asseoir, il peut se promener librement. La perception peut se centrer soit sur le quatuor à cordes lui-même, soit sur les sons sur support. Le public peut aussi visiter les régions où les co-déterminations des quatre composantes font émerger [*bring forth*] des sonorités particulières et des profils timbriques. Un large public affecterait le comportement global de la musique, puisque sa présence provoquerait des changements importants dans l'acoustique de la salle »[23] [Di Scipio, 1999b]. Un écosystème consiste, avons-nous dit, en une interaction entre un système (lui-même défini comme interaction d'éléments) et son environnement ; or, l'auditeur fait partie de l'environnement, il modifie l'acoustique du lieu de la performance, il

[23] « the audience attending the full performance […] doesn't have to sit down, rather it can freely walk around. Perception can focus either on the string quartet itself or the taped sounds. The audience can also visit the areas where the co-determinations of four components bring forth peculiar sonorities and timbral shapes. A large audience would ultimately affect the overall behaviour of the music, as its presence would cause significant changes in the room acoustics ».

fait partie du bruit environnant, de l'ambiance sonore. Di Scipio est conscient de la radicalité de ce point de vue, selon lequel il n'y a pas de dichotomie entre l'« extérieur » (l'auditeur) et l'« intérieur » (la musique comme objet prédéfini), l'*autonomie* qui l'intéresse consistant précisément à postuler un système unique, où tout est « intérieur » : « Les auditeurs constituent un type très particulier d'observateurs ou écouteurs *extérieurs*, car leur simple présence physique dans la salle agit comme un élément d'absorption acoustique. Aussi, ils constituent plutôt un composant *interne* de la dynamique de l'écosystème »[24] [Di Scipio, 2003 : 274]. À la question « Qu'est-ce que la musique ? », il répond : c'est un processus qui se définit lors du processus de l'écoute. La musique n'est pas prédéfinie : elle émerge des opérations cognitives de l'auditeur – le compositeur étant lui-même un auditeur, peut-être plus actif.

Mais le champ de la question est plus large. Si l'écoute fait partie intégrante de l'expérience musicale, en fait, il en va ainsi de toute opération cognitive à l'œuvre dans ce que l'on appelle musique : tout *sujet* fait partie du modèle proposé par Di Scipio, qui conçoit la musique comme l'interaction et non la confrontation entre un sujet et un objet : « Le sujet de la cognition (un compositeur, un auditeur) ferait partie intégrante de ce modèle [la « théorie de l'émergence sonologique »], même si il/elle cherche toujours à cacher son activité, son rôle inventif et qu'il simule une auto-organisation (virtuelle) de la structure musicale »[25] [Di Scipio, 1994 : 206].

En sciences cognitives (selon Varela), l'hypothèse sous-jacente à un tel modèle signifie que, après s'être délesté des symboles, on abandonne l'idée ancestrale de *représentation*. Le paradigme computationnel, concevant le cerveau comme système de traitement de l'information, postulait que l'activité principale du sujet cognitif consisterait à se créer des représentations du monde, à les adapter, à les réajuster, etc. Le modèle de l'émergence proposé par le connexionnisme conservait cette approche, selon laquelle « le critère d'évaluation de la cognition est toujours la représentation adéquate d'un monde extérieur prédéterminé » [Varela, 1996 : 90-91]. Or, « la plus importante faculté de toute cognition vivante est précisément, dans une large mesure, de *poser* les questions pertinentes qui surgissent à chaque moment de notre vie. Elles ne sont pas prédéfinies mais *enactées*, on les *fait-émerger* sur un arrière-plan, et les critères de pertinence sont dictés par notre sens commun, d'une manière toujours contextuelle », écrit Varela [*ibid.* : 91]. Et « si le monde dans lequel nous vivons se réalise naturellement plutôt que d'être prédéfini, la notion de représentation ne peut plus dorénavant jouer un rôle aussi central » [*ibid.* : 92]. L'approche de l'enaction, que défend Varela, complète, en quelque sorte, l'idée de l'émergence : celle-ci devient un « faire-émerger », c'est-à-dire que l'on postule une circularité entre sujet et objet, et entre action et interprétation. Le « faire-émerger » se nomme *hervorbringen* en allemand : Varela renvoie à la phénoménologie (celle de Husserl, du premier Heidegger et de Merleau-Ponty) qui avait, depuis déjà longtemps, proposé le dépassement de la dichotomie sujet/objet,

---

[24] « Listeners are a very special kind of *external* observer or hearer, because their mere physical presence in the room acts as an element of acoustical absorption. Hence they are rather an *internal* component of the ecosystemic dynamics ».

[25] « The subject of cognition (a composer, a listener) would be an integral part of this model [the "theory of sonological emergence"], even though in actuality he/she always tries to hide his/her active, inventive role and simulate a (virtual) self-organisation of the musical structure ».

et qui avait donc récusé la notion de représentation – en parallèle d'ailleurs avec l'art dit abstrait. « Le vrai défi posé […] par cette approche est sa mise en cause du préjugé le plus enfoui de notre tradition scientifique, à savoir que le monde tel que nous le percevons est indépendant de celui qui le perçoit », conclut Varela [*ibid.* : 98-99].

Pour revenir à la musique, on dira que, si l'on suit cette approche, elle ne peut être conçue comme indépendante de l'expérience musicale – du compositeur, de l'interprète, de l'auditeur. Le compositeur ne serait pas alors un récepteur d'« images » (sonores, mentales) qui les traduirait en notes. L'auditeur ne serait pas – pour caricaturer la tradition musicale, qui atteint aujourd'hui son paroxysme avec le commerce transformant tout en « images » – hanté par la nécessité de se représenter la musique qu'il entend, de s'en faire des « images ». Etc. Plus généralement, l'imagination musicale ne consisterait pas en « visualisations » et autres opérations réifiantes. C'est bien, me semble-t-il, ce que nous dit Di Scipio, lorsqu'il associe aussi bien le compositeur, l'auditeur que l'interprète dans un ensemble d'interactions incluant également le monde concret (le lieu de la performance, par exemple), un ensemble d'interactions qui serait le « faire-émerger » la musique.

Bien sûr, libre à chacun de se faire des représentations, d'entendre par exemple dans la musique de Di Scipio, ici ou là, des oiseaux. Mais alors, il ne s'agirait pas de l'adéquation de la représentation d'un sujet à un objet pensé comme prédéfini, mais plutôt d'une *expérience*, c'est-à-dire d'une action/perception fondée sur un vécu : « L'idée fondamentale est donc que les facultés cognitives sont inextricablement liées à l'historique de ce qui est vécu, de la même manière qu'un sentier au préalable inexistant apparaît en marchant. L'image de la cognition qui s'ensuit n'est pas la résolution de problèmes au moyen de représentations, mais plutôt le faire-émerger créateur d'un monde, avec la seule condition d'être opérationnel : elle doit assurer la pérennité du système en jeu » [Varela, 1996 : 111-112]. La musique consisterait alors en un faire-émerger fondé sur une expérience *commune*. Les oiseaux appartiennent au vécu musical du compositeur italien (Vivaldi oblige), de même que de la plupart des auditeurs. Par la composition (d'interactions), Di Scipio *partage* son écoute avec l'auditeur. Quant à ce dernier, c'est de son plein gré qu'il décide de recommencer sans cesse l'expérience de l'écoute, car il sait que cette dernière se modifiera sans cesse au même titre que la « musique », et que sera peut-être ainsi fondée une communauté (musicale) libre.

RÉFÉRENCES MUSICALES (ŒUVRES DE DI SCIPIO)

5 interazioni cicliche alle differenze sensibili, 1997-98, pour quatuor à cordes et DSP dépendant du lieu de la performance. Version « installation », nommée *Install Qrtt*, pour quatuor à cordes, support fixe et électronique en direct. Enregistrements : a) Cemat, C001, Rome ; b) ICMC 2000, Berlin ; c) PanAroma, San Paulo ; d) cf. *Audible Ecosystemics*.

Audible Ecosystemics, ensemble de pièces pour solo d'électronique en direct, 2002-2005 : 1. *Impulse Response Study* ; 2. *Feedback Study* ; 3a. *Background Noise Study* ; 3b. *Background Noise Study, with Mouth Performer*. CD *Hörbare Ökosysteme*, comprenant aussi : *Texture-Multiple*, 1993-2000, pour 6 instruments et DSP dépendant du lieu de la performance ; *5 interazioni cicliche alle differenze sensibili* ; *Craquelure (2 pezzi silenziosi, a Giuliano)*, 2002, pour solo d'électronique en direct à paraître aux éditions RZ.

Due di Uno, 2003, pour violon, flûte à bec piccolo et DSP adaptatif.

Paysages historiques, 1998-2005, ensemble de pièces pour support fixe : 1. *Roma. L'insieme di Cantor* ; 2. *Berlin. Bad Sampling* ; 3. *Paris. La Robotique des Lumières* ; 4. *New York. Background Media Noise*. CD (comprenant aussi : *Untitled (sound synthesis, October '01)*, 2001, pour support fixe ; *eBss (e-Book Sound Supplement)*, pour support fixe) à paraître aux éditions Chrysopée électronique, Bourges.

Codice d'impulsi (su legno)), 2002-2004, pour objets en bois et DSP adaptatif.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDERSON Christine (2005), « Dynamical Networks of Sonic Interactions. An Interview with Agostino Di Scipio, *Computer Music Journal*, à paraître.

BENKIRANE Réda (2002), « Autopoïèse et émergence. Entretien avec Francisco Varela », in *La Complexité, vertiges et promesses. 18 histoires de sciences*, Paris, Le Pommier.

BREGMAN Albert S. (1990), *Auditory Scene Analysis. The Perceptual Organization of Sound*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press.

DI SCIPIO Agostino (1994), « Formal Processes of Timbre Composition. Challenging the Dualistic Paradigm of Computer Music », *Proceedings of the 1994 International Computer Music Conference*, San Francisco, International Computer Music Association, p. 202-208.

DI SCIPIO Agostino (1997) : « The problem of 2nd-order sonorites in Xenakis' electroacoustic music », *Organised Sound* vol. 2 n°3, p. 165-178.

DI SCIPIO Agostino (1998a) : « Da *Concret PH* a *Gendy 301*. Modelli compositivi nella musica elettroacustica di Xenakis », *Sonus* n°14, Potenza, Sonus Edizioni Musicali, 1995, p. 61-92 (traduction américaine : « Compositional Models in Xenakis's Electroacoustic Music », *Perspectives of New Music* vol. 36 n°2, p. 201-243.

DI SCIPIO Agostino (1998b), « Question concerning music technology », *Angelaki: journal of the theoretical humanities* vol. 3 n°2, p. 3-40.

DI SCIPIO Agostino (1998c) : « Scienza e musica dei quanti acustici: l'eredità di Gabor », *Il Monocordo* vol. 6, p. 71-76.

DI SCIPIO Agostino (1999a), « Synthesis of environmental sound textures by iterated nonlinear functions », *Proceedings of the 2nd COST G-6 Workshop on Digital Audio Effects*, NTNU, Trondheim.

DI SCIPIO Agostino (1999b), « The composition of *INSTALL QRTT*. An eco-system view of music composing », inédit.

DI SCIPIO Agostino (2000a), « An Analysis of Jean-Claude Risset's *Contours* », *Journal of New Music Research* vol. 29 n°1, p. 1-21.

DI SCIPIO Agostino (2000b), « Da un'esperienza in ascolto di *Phonè* e *Logos*. Testo, suono e struttura in *Thema (Omaggio a Joyce*) di Berio », *Il Saggiatore musicale*, vol. VII n°2, 2000, p. 325-359.

DI SCIPIO Agostino (2000c), « The technology of musical experience in the 20th century », *Rivista italiana di musicologia* vol. 35 n°1-2, p. 247-275.

DI SCIPIO Agostino (2001) : « Clarification on Xenakis: the Cybernetics of Stochastic Music », *in* M. Solomos (éd.), *Présences de / Presences of Iannis Xenakis*, Paris, Cdmc, p. 71-84.

DI SCIPIO Agostino (2003), « "Sound is the interface": from *interactive* to *ecosystemic* signal processing », *Organised Sound* vol. 8 n°3, p. 269-277.

DI SCIPIO Agostino (2005) : « *Due di Uno*. Une composition dédiée à Horacio Vaggione », traduction française Renaud Meric, *in* M. Solomos (éd.), livre à paraître sur Horacio Vaggione.

SOLOMOS Makis (1998),« L'espace-son », *in* Jean-Marc Chouvel, Makis Solomos (éd.), *L'espace : musique-philosophie*, Paris, L'Harmattan, p. 211-224.
SOLOMOS Makis (2005a), *Introduction à la musique de Iannis Xenakis* (nouvelle version de M. Solomos, *Iannis Xenakis*, Mercuès, P.O. Editions, 1996), http://www.univ-montp3.fr/~solomos.
SOLOMOS Makis (2005b), « Introduction à la pensée musico-théorique de Horacio Vaggione », *in* M. Solomos (éd.), livre à paraître sur Horacio Vaggione.
SOLOMOS Makis (2005c), « Une musique politique », pochette du CD Agostino Di Scipio, *Paysages historiques*, Chrysopée électronique, à paraître.
TIBERGHIEN Guy, éd. (2002) : *Dictionnaire des sciences cognitives*, Paris, Armand Collin.
TRUAX Barry (1995), « Le son contextualisé : la composition du son environnemental à l'université Simon Fraser », in *Esthétique et Musique Electroacoustique. Actes de l'Académie de Bourges*, volume I, p. 92-100.
VAGGIONE Horacio (1996), « Articulating Micro-Time », *Computer Music Journal* vol. 20 n°1, p. 33-38.
VAGGIONE Horacio (1998), « Son, temps, objet, syntaxe. Vers une approche multi-échelle dans la composition assistée par ordinateur », *in* A. Soulez, H. Vaggione (éd.), *Musique, rationalité, langage. L'harmonie : du monde au matériau*, revue *Cahiers de philosophie du langage* n° 3, p. 169-202.
VARELA Francisco J. (1989), *Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant*, Paris, Seuil.
VARELA Francisco J. (1996), *Invitation aux sciences cognitives*, Paris, Seuil.
XENAKIS Iannis (1958), « Les trois paraboles », repris *in* I. Xenakis, *Musique. Architecture*, Tournai, Casterman, 1971, p. 16-19.
XENAKIS Iannis (1963), *Musiques formelles = Revue Musicale* n°253-254. Réédition : Paris, Stock, 1981.