

Anne Veitl

(Observatoire Tscimuse-Grenoble)

MUSIQUE, CAUSALITÉ ET ÉCRITURE :
MATHEWS, RISSET, CADOZ
ET LES RECHERCHES EN SYNTHÈSE NUMÉRIQUE DES SONS

INTRODUCTION

En novembre 1963, un article signé de l'Américain Max V. Mathews parut dans la revue *Science*, sous le titre « *The Digital Computer as a Musical Instrument* »¹. Jeune scientifique, Max V. Mathews y présentait une partie des recherches qu'il menait depuis 1956, au sein des laboratoires de la Compagnie Bell Telephone (les « *Bell Labs* »), sur les sons, la parole et l'informatique². Cet article portait sur ses travaux en cours dans les domaines de la musique et de la synthèse des sons par l'ordinateur. Il contribua à les faire mieux connaître dans la communauté scientifique internationale³.

Plus de quarante ans après la publication de cet article, il est toujours pertinent d'y revenir, tout d'abord pour prendre connaissance des premières technologiques, scientifiques et artistiques alors réalisées. D'un point de vue historique, ce texte est aussi important pour comprendre les apports pratiques et théoriques de ces recherches, à plus long terme. Max V. Mathews fut en effet un pionnier à plusieurs titres, mais il a en particulier contribué à poser et expliquer les problèmes ; il a ainsi ouvert différentes voies fondamentales de recherche.

Or, encore aujourd'hui, ces nouvelles directions demandent à être mieux connues et situées, surtout dans l'histoire générale des technologies, des sciences et des arts. Les travaux de spécialistes sont désormais très nombreux, mais plus rares sont les questionnements interdisciplinaires, nécessaires pour analyser et faire comprendre les changements globaux en cours.

Parmi les différents travaux menés, de par le monde, en filiation plus ou moins directe avec ceux de Max V. Mathews, les recherches respectives de deux Français, Jean-Claude Risset⁴

1. Max V. Mathews, « *The Digital Computer as a Musical Instrument* », *Science*, November 1, 1963, n° 3591, p. 553-557.

2. Né en 1926, ingénieur électronicien et diplômé du MIT, Max V. Mathews est entré aux *Bell Labs* en 1955. Il y est resté jusqu'en 1987 avant de rejoindre l'Université Stanford. Pour une biographie succincte : <http://csounds.com/mathews>

3. Avant 1963, ces recherches avaient été présentées soit dans des colloques, soit dans une publication des *Bell Labs*, ou dans des revues musicales très spécialisées comme les *Gravesaner Blätter*. Certains de ces textes, ainsi que l'article de 1963, ont été reproduits dans le livret accompagnant *The Historical CD of Digital Sound Synthesis, Computer Music Currents 13*, WER 2033-2.

4. Jean-Claude Risset, né en 1938, scientifique et musicien, est actuellement Directeur de recherche émérite au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique du CNRS, à Marseille.

et Claude Cadoz⁵, permettent tout particulièrement de prendre la mesure des principales directions de recherche ouvertes à la fin des années 1950. Leurs travaux portent sur la synthèse numérique des sons, mais concernent aussi les enjeux généraux : des transformations de fond qui touchent, au-delà de la musique, les manières de pratiquer, de théoriser et de relier les sciences, les recherches technologiques et la création artistique.

Pour étudier ces changements, deux problématiques transversales ont été identifiées et seront plus spécifiquement abordées dans cet article⁶ : celle de « la causalité » et celle de « l'écriture ». Certaines méthodes et outils de synthèse numérique des sons mis au point à partir de la fin des années 1950 ont en effet contribué à reposer la question, millénaire, des modes d'écriture de la musique : de nouveaux types d'écriture ont été élaborés. L'invention de ces nouveaux systèmes de notation de la musique est aussi étroitement liée au problème des « causes », tout aussi fondamental et encore plus ancien⁷.

CONDITIONS DE POSSIBILITÉ

Max V. Mathews est le plus souvent présenté comme le pionnier mondial de la synthèse numérique de sons musicaux, en tant qu'auteur du programme informatique qui permit, en mai 1957, de produire un air de musique de 17 secondes, d'après la mélodie proposée par un de ses collègues des *Bell Labs*, Newman Guttman. *The Silver Scale* fut la première pièce de musique à la fois écrite et jouée par un ordinateur, et audible via des haut-parleurs.

Comme Max V. Mathews le rappelle dans son article de 1963, dès cette première il fut acquis qu'un être humain pouvait programmer un ordinateur afin de lui faire produire *a priori* n'importe quel son. Pour autant, il fallut d'abord réunir différentes conditions technologiques et scientifiques, puis affronter le problème de l'adéquation, pratique et théorique, entre les fins visées et les moyens alors disponibles.

Formulé le plus lapidairement possible, produire un son par l'ordinateur a consisté à contrôler les vibrations de la membrane d'un haut-parleur à l'aide d'un programme informatique. Mais cela ne fut pas si simple, car différents équipements, outre l'ordinateur, étaient nécessaires ; Max V. Mathews dut aussi anticiper et ajuster les potentialités originales encore peu explorées des ordinateurs avec les connaissances scientifiques les plus récentes.

A tout le moins, il fallait que l'ordinateur soit connecté à des haut-parleurs, par l'intermédiaire d'un autre appareil qui permette de transformer des nombres en impulsions électriques. Ce deuxième appareil, dénommé « convertisseur Numérique/Analogique », avait pour fonction de transformer les données de sortie propres aux ordinateurs (des nombres) en données d'entrée

5. Claude Cadoz, né en 1948, scientifique et musicien, est Ingénieur de recherche au ministère de la Culture et à l'Institut national polytechnique de Grenoble.

6. Ces analyses s'inscrivent dans un programme de recherches en cours sur les liens entre les technologies, les sciences et la création musicale contemporaine. Ces travaux portent autant sur le passé que sur l'actualité. Ils sont menés en mobilisant la méthodologie de l'Histoire et les savoirs des différentes Sciences de l'Homme et de la Société.

7. Le philosophe Aristote, dans sa *Physique* et sa *Métaphysique*, avait déjà réfléchi à une « science des causes » dans les domaines de la connaissance et des arts. Voir notamment : Aristote, *La Métaphysique*, Paris, Pocket, Collection « Agora, Les classiques », 1991, p. 162-166.

caractéristiques des haut-parleurs (de l'électricité). Ainsi équipé, et programmé explicitement à cette fin, un ordinateur devait pouvoir générer et donner à entendre un événement sonore perceptible, quel qu'il soit.

D'autre part, la programmation informatique de la synthèse de sons fut technologiquement et scientifiquement réalisable grâce aux potentialités propres aux tout nouveaux calculateurs digitaux et à une grande avancée mathématique datant de la fin des années 1940.

L'ordinateur était en mesure de générer et calculer automatiquement, puis de garder en mémoire, des suites, même très longues, de nombres ; c'était son principal apport depuis son invention en 1945. Les types de suites de nombres en jeu étaient indiquées dans le programme écrit par l'utilisateur de l'ordinateur. Dans le cas présent, elles concernaient les caractéristiques d'un certain type d'onde sonore qu'elles décrivaient selon les principes de « l'échantillonnage ».

Les spécifications pour parvenir à « échantillonner » correctement une onde venaient d'être théorisées par le chercheur américain Claude E. Shannon, en 1948⁸. L'échantillonnage, dans son sens mathématique, consistait à opérer une quantification de la réalité physique des ondes, à les représenter numériquement. Pour ce qui est des ondes sonores, il permettait ainsi de faire correspondre, à tel son, telle suite de nombres, autrement dit de disposer d'une mémorisation quantitative et d'une forme potentielle, « virtuelle » (comme on le dit depuis la fin du xx^e siècle), d'un son.

Comme il était déjà bien connu, à l'époque, que des sons pouvaient être produits à partir de l'électricité (du fait de l'homologie entre les phénomènes électriques et les ondes sonores), il était désormais *a priori* possible de créer de toute pièce un son, selon ces étapes : les données numériques qui caractérisaient ce son étaient spécifiées dans le programme informatique, calculées et générées par l'ordinateur, mémorisées, puis converties en électricité et ensuite, grâce aux haut-parleurs, en ondes sonores réelles et donc audibles.

A la fin des années 1950, il existait des limitations pratiques à la synthèse numérique des sons du fait du manque de puissance et de mémoire⁹ des ordinateurs alors disponibles. Cela avait un impact sur les quantités de nombres calculables par seconde et donc sur le temps d'attente avant de pouvoir obtenir les résultats des calculs¹⁰. Mais l'essentiel des difficultés ne résidait pas là.

Les problèmes auxquels se heurtèrent très vite les pionniers de la synthèse numérique étaient de deux ordres. Tout d'abord, pour décrire une onde sonore par des suites de nombres, fallait-il préalablement avoir une connaissance des caractéristiques de cette onde, qui faisaient son identité singulière ; or il s'avéra très vite que les connaissances en la matière étaient très pauvres et que les scientifiques et les meilleurs acousticiens ne savaient pas, du point de vue des composantes physiques d'un son, ce qui contribuait à son identité. D'autre part, les données numériques à spécifier étaient en général beaucoup trop nombreuses, dès qu'il s'agissait d'un

8. Le livre qui rend compte de ces travaux est publié l'année suivante : Claude E. Shannon et Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Information*, Urbana, The University of Illinois Press, 1949.

9. Notamment la mémoire disponible rapidement. Si les ordinateurs de cette période pouvaient déjà stocker de grandes quantités de nombres sur des bandes magnétiques numériques, ils étaient très limités en ce qui concerne leur mémoire interne à accès rapide.

10. Par exemple, le calcul d'une seconde de son pouvait prendre alors trente minutes.

son de plusieurs secondes, alors que pour composer de la musique il était nécessaire de pouvoir générer à tout le moins plusieurs minutes de sons. Le programme informatique à écrire devenait vite démesuré et fastidieux.

Dès 1957-1958, l'enjeu pour Max V. Mathews ne fut donc plus tant de produire un son avec un ordinateur, que de l'utiliser pour avoir une réelle prise sur les caractéristiques des sons générés, sur leur timbre autant que sur la manière dont ils évoluaient dans le temps et s'articulaient les uns avec les autres, à la manière dont un instrument de musique donne une maîtrise de la génération, de la simultanéité et de la succession des sons, et de leurs particularités audibles.

Cela l'amena à concevoir un nouveau type de programme informatique qui allait permettre aux musiciens, dans certaines limites, de recourir à l'ordinateur comme une lutherie. Dans son article de 1963 paru dans *Science*, Max V. Mathews exposa les principes de ce programme informatique mis au point en 1959 et devenu un modèle de logiciel pour synthétiser des sons dans une perspective musicale : Music III, suivi en 1962 de Music IV.

Mais dans quelle mesure l'ordinateur fut-il alors effectivement utilisé « comme un instrument de musique », comme il était annoncé dans le titre du texte de Max V. Mathews ?

CAUSALITÉ *VERSUS* FONCTION ?

Aujourd'hui, et paradoxalement, la référence à l'enjeu de l'ordinateur en tant qu'instrument de musique semble avoir perdu de son évidence quand il est question des recherches pionnières de Max V. Mathews. Les logiciels Music qu'il a mis au point, et notamment les versions III, IV et V, sont de nos jours en général présentés comme les modèles des logiciels de synthèse de sons qui ciblent les ondes sonores et les phénomènes sonores audibles. Ils seraient exemplaires des démarches qui fondent les méthodes de synthèse sur une connaissance et une modélisation du signal sonore lui-même, sur des « modèles de signal », selon la formule des spécialistes du domaine.

Selon cette perspective, ces types de logiciels sont souvent opposés à ceux qui visent plutôt les moyens matériels et humains pour générer des ondes sonores. Les recherches en synthèse dite par « modèles physiques » seraient exemplaires de ce second type d'approche qui prend d'abord en considération les causes des sons et non plus les sons eux-mêmes. Ces logiciels de synthèse des sons consistent en effet à simuler, grâce à l'ordinateur, des corps sonores matériels et des instruments de musique, ainsi que les manières de les mettre en vibration, afin de les entendre. Cette seconde voie de recherche scientifique et technologique aurait été ainsi finalement la seule à tenter de transformer les ordinateurs en instruments de musique.

Parmi les chercheurs et musiciens pionniers en synthèse des sons par ordinateur, deux personnalités incarneraient ces deux manières, de nos jours communément opposées, de poser les problèmes, tant en science qu'en musique : Jean-Claude Risset et Claude Cadoz. Les travaux du premier sont aux origines des approches qui fondent les procédés de synthèse des sons sur une connaissance fine et intérieure des sons eux-mêmes ; les recherches du second sont exemplaires d'une problématisation en terme de causes des phénomènes sonores acoustiques.

A la suite de Max V. Mathews, et dans son équipe des *Bell Labs* en 1964-65 et entre 1967 et 1969, Jean-Claude Risset a mené des travaux d'analyse et de synthèse de sons pour lesquels

les connaissances étaient alors lacunaires : notamment l'imitation des sons cuivrés, encore particulièrement difficiles à synthétiser avec un ordinateur. Ses recherches l'ont amené à proposer une démarche qui vise à étudier dans le détail un signal sonore afin de repérer les variables en jeu dans son identité singulière. Plus exactement, il a travaillé à mettre en évidence les relations entre les variables qui contribuent à ce qu'un son précis soit perçu et reconnu comme tel.

Autrement dit, d'un point de vue épistémologique, il aurait abouti à mettre en relation « fonctionnelle » les variables repérées dans ses travaux d'analyse d'un son ; son approche serait typique d'une démarche en terme de « fonction », de dépendance mutuelle entre des phénomènes.

Cette démarche fonctionnaliste s'opposerait à celle que met en œuvre Claude Cadoz depuis le milieu des années 1970. Amorcées dans un laboratoire scientifique grenoblois, puis poursuivies dans le cadre de l'ACROE¹¹, les recherches de Claude Cadoz visent à utiliser l'ordinateur pour simuler des instruments de musique et leurs modes de jeu. L'ensemble des causes en jeu dans la production des sons est ici pris en considération. Cela a amené Claude Cadoz et l'équipe de l'ACROE à concevoir des logiciels de synthèse des sons par « modèles physiques », mais également des périphériques d'ordinateurs qui permettent aux utilisateurs d'établir une relation gestuelle avec la machine et ainsi de jouer des instruments de musique simulés informatiquement¹².

Les travaux respectifs de Jean-Claude Risset et de Claude Cadoz seraient ainsi exemplaires d'une opposition qui traverserait le domaine des recherches en synthèse des sons, mais également les différents champs de recherche scientifique : le dualisme fonction/cause. Comme les épistémologues et les historiens des sciences l'ont déjà bien mis en évidence, il existe en effet depuis le XIX^e siècle une opposition assez nette entre les approches scientifiques plutôt fonctionnalistes et les démarches de recherche en terme de causalité. Le couple fonction/cause est un des couples de notions importants pour analyser et caractériser les différents types de pratiques et de raisonnements scientifiques¹³.

Mais faut-il pour autant s'en tenir à ces analyses dualistes, peut-être trop simplistes, comme toutes les visions bipolaires ?

Près de cinquante ans après le début des travaux de Max V. Mathews, il est en fait devenu important de nuancer certaines oppositions. Le projet initial de Max V. Mathews de transformer l'ordinateur en instrument de musique n'a certes été réalisé, à strictement parler, que partiellement, mais il est fondateur de différentes démarches scientifiques et musicales qui ont, en définitive, beaucoup plus de points communs qu'il ne le semble au premier abord.

11. Association pour la Création et la Recherche sur les Outils d'Expression.

Actuellement, l'ACROE est liée avec l'équipe ICA (Informatique et Création Artistique) de l'Institut national polytechnique de Grenoble.

12. Pour une présentation synthétique récente des différents travaux de l'ACROE, voir notamment cet article pour les actes du colloque NIME03 de Montréal : Claude Cadoz, Annie Luciani, Jean-Loup Florens et Nicolas Castagné, « ACROE – ICA, Artistic Creation and Computer Interactive Multisensory Simulation Force Feedback Gesture Transducers ».

(en ligne : <http://www.music.mcgill.ca/musictech/nime/onlineproceedings/TOC.html>)

13. Parmi les ouvrages récents sur ce sujet, voir : Laurence Viénot et Claude Debru (Ed.), *Enquête sur le concept de causalité*, Paris, PUF, Collection « Science, histoire et société », 2003.

Aussi peu évident cela peut-il être *a priori*, la problématisation en terme de causalité fait bien partie de ces points en commun. L'approche par les causes est en effet fondamentale – si ce n'est incontournable – dès qu'il s'agit d'utiliser des technologies numériques dans le cadre de pratiques scientifiques et/ou artistiques. Max V. Mathews en a posé les principes dès la fin des années 1950 en opérant un décadrage épistémologique décisif : l'amorce d'une approche décentrée par rapport aux sons eux-mêmes.

Comme il l'explique dans son article paru en 1963 dans *Science*, le type de logiciel finalement mis au point aborde les problèmes en amont, ceci afin de trouver un compromis entre deux enjeux *a priori* difficiles à concilier : disposer à la fois d'une procédure générale permettant de synthétiser n'importe quel son et d'une méthode simple à l'usage qui n'exige pas de l'utilisateur de l'ordinateur un travail de programmation démesuré ou trop compliqué.

En concevant, en 1959, Music III, un logiciel de type « modulaire » (comme disent les spécialistes), Max V. Mathews a en fait proposé une procédure où il ne s'agit plus de spécifier toutes les caractéristiques d'une onde sonore, mais de décrire un certain mode d'assemblage de modules donnés qui, selon les paramètres d'entrée eux-aussi indiqués dans le programme, vont contribuer à produire, *in fine*, tel ou tel type de signal sonore. Ces modules sont principalement des générateurs d'onde qui sont simulés numériquement : des oscillateurs logiciels.

En d'autres termes, il s'agit de produire indirectement une onde, en opérant des détours par certaines de ses causes (des oscillateurs en réseau). La grande originalité de Music III réside dans ce décadrage-recadrage vers l'assemblage d'éléments de base en amont du processus de génération d'une onde.

Max V. Mathews a d'ailleurs proposé, dès cette version du logiciel Music, d'appeler « instrument de musique » les assemblages de modules, et « partition » les paramètres indiqués. A strictement parler, il s'agit plutôt « d'instruments » (tout court) ou, plus précisément, d'une instrumentation. La relation, tactile et énergétique, de corps (humain) à corps (sonore) y est en effet absente, alors qu'elle est fondamentale en musique et en organologie¹⁴.

Néanmoins, en concevant un logiciel qui ne vise plus directement à échantillonner un signal sonore, mais qui déplace et recadre nettement les problèmes, Max V. Mathews a pu proposer une démarche à la fois générale et simple, en ce sens où elle permet de générer une très large variété de sons, tout en donnant une maîtrise relativement aisée de la synthèse des sons, grâce au procédé d'assemblage d'un nombre limité de modules donnés.

D'un point de vue technologique et épistémologique, il a aussi contribué à une utilisation de l'ordinateur non plus comme calculateur automatisé performant, mais comme moyen de simulation, comme outil pour simuler numériquement des interconnexions et des systèmes de modules à l'origine de phénomènes ondulatoires. Ce recours à l'ordinateur comme moyen de simulation constitue la grande condition technologique d'un décalage vers les causalités des sons.

14. La possibilité, ou pas, d'instaurer une relation instrumentale qui mobilise le sens du toucher et l'énergie musculaire est une dimension importante à considérer dans les technologies musicales informatiques avec des périphériques gestuels. Lire principalement les analyses de Claude Cadoz : « Musique, geste, technologie », dans Hugues Genevois et Raphaël de Vivo (Ed.), *Les nouveaux gestes de la musique*, Marseille, Editions Parenthèses, 1991, p. 47-92.

Selon cette perspective, Max V. Mathews est bien le premier à avoir mis la musique en cause, si l'on peut dire. Une telle problématisation de la question de la synthèse numérique des sons est indissociable d'une bonne maîtrise des processus en jeu et des résultats visés. Elle est aussi à l'origine de différentes recherches qui ont mobilisé des formes variées de causalités, comme celles, justement, de Jean-Claude Risset et Claude Cadoz.

DÉTERMINISME *VERSUS* SYSTÈME DYNAMIQUE COMPLEXE

Au delà de l'opposition entre les méthodes de synthèse numérique des sons par « modèles de signal » et les approches par « modèles physiques », les recherches respectives de Jean-Claude Risset et Claude Cadoz ont en commun avec les travaux fondateurs de Max V. Mathews une problématisation en terme de causes qui se fonde sur un recours à l'ordinateur comme moyen de simulation des processus en amont des phénomènes sonores et musicaux perçus. Des différences notables existent cependant.

La démarche « d'analyse par synthèse » mise en œuvre depuis son travail de thèse par Jean-Claude Risset et celle de Claude Cadoz qui vise à modéliser des corps matériels vibrants selon une approche du type « masse-interaction » reposent sur deux conceptions particulières de la causalité qui prolongent et développent selon des directions originales les recherches pionnières sur « l'ordinateur en tant qu'instrument de musique ».

Depuis ses recherches sur la synthèse des sons cuivrés menés pendant les années 1960 aux Bell Telephone Laboratories, Jean-Claude Risset insiste sur la nécessité de mettre en évidence les relations entre les variables qui contribuent à l'identité singulière d'un son. S'il centre ainsi son attention sur les caractéristiques des sons eux-mêmes, la manière dont il procède pour les analyser, les synthétiser (principalement avec Music V), et surtout pour articuler ses travaux et expérimentations d'analyse et de synthèse, relève bien néanmoins d'une approche décalée, causaliste.

Plus précisément, il s'agit d'une démarche qualifiable de « déterministe », en ce sens où elle consiste en une recherche des éléments « déterminants » dans un phénomène. Dans ce type d'approche, les travaux scientifiques menés visent à identifier un petit nombre de facteurs qui ne sont pas du tout évidents *a priori*, car ils ne sont pas dans une relation simple de cause à effet. C'est au terme d'une analyse, et par la connaissance, que ces éléments sont repérés comme étant décisifs dans le phénomène étudié.

Comme l'ont montré les travaux des épistémologues et des historiens des sciences, le déterminisme est l'une des grandes conceptions scientifiques de la causalité, qui a pris forme au cours du XIX^e siècle. Elle est fortement liée au franchissement du seuil de la scientificité dans de nombreux savoirs et domaines de connaissance¹⁵. Effectivement, à la suite de Max V. Mathews qui avait été très vite confronté aux manques de connaissances concernant l'identité singulière de nombreux sons, Jean-Claude Risset va contribuer à une nette avancée des connaissances en acoustique, notamment grâce à sa méthode de travail.

L'approche que Jean-Claude Risset va mettre en œuvre à partir de l'automne 1964, pour son travail de thèse sur les sons de trompette, est scientifique et déterministe en ce sens où il

15. Voir Laurence Viénot et Claude Debru (Ed.), *op. cit.*, et plus particulièrement, dans cet ouvrage : Michel Paty, « La notion de déterminisme en physique et ses limites », p. 77-114.

va essayer de trouver non pas toutes les variables en jeu, mais le petit nombre de conditions nécessaires et suffisantes à réunir pour qu'un son cuivré soit perçu en tant que tel. Cela a nécessité d'aller au-delà d'une description détaillée et complète de la structure physique d'un son de trompette, pour se concentrer plutôt sur quelques variables situées en amont des phénomènes perçus globalement.

Jean-Claude Risset a mis finalement en évidence quelques facteurs déterminants, non pas en soi, mais à l'audition, au cours du temps et dans un certain contexte. Il a principalement montré que le type « d'attaque »¹⁶ du son et la manière dont son « spectre »¹⁷ s'enrichissait avec l'augmentation de l'intensité constituaient les éléments décisifs.

Plus précisément, un son de trompette est perçu comme tel tout d'abord à cause de la manière dont il débute. Certaines composantes du son apparaissent alors plus rapidement que d'autres. Mais ceci varie selon la durée du son, s'il est bref ou en revanche soutenu. L'amorce du son est déterminante surtout pour les sons qui se prolongent sans trop changer. L'identité cuivrée d'un son est d'autre part très fortement déterminée par l'apparition de certaines composantes quand le son devient plus fort. L'augmentation de l'intensité est indissociable d'un enrichissement en harmoniques¹⁸ aiguës, là réside la cause essentielle de la détermination physique d'un son de trompette.

Au cours de ces recherches, afin de vérifier si les facteurs en cause étaient bien les bons, Jean-Claude Risset réalisait des synthèses numériques avec les logiciels Music. Il n'indiquait dans le programme informatique que les facteurs importants repérés et pouvait confronter ainsi ses analyses aux résultats audibles des synthèses opérées ; d'où sa méthode dite « d'analyse par synthèse », comme il l'a dénommée lui-même¹⁹.

Les travaux menés par Jean-Claude Risset dans l'équipe de Max V. Mathews ont par ailleurs contribué à enrichir les logiciels Music et notamment la cinquième version disponible à partir de 1967. Jean-Claude Risset a aussi participé à une meilleure compréhension de l'originalité et de l'intérêt de ces logiciels en écrivant en 1969 une série de programmes informatiques permettant de générer avec Music V des sons cuivrés, bien sûr, mais aussi des sons flûtés, des sons percussifs, ainsi que des sons qui n'existent pas dans la réalité, comme des *glissandi* infinis.

Rassemblés dans un « catalogue »²⁰, alors communiqué à qui le souhaitait²¹, ces programmes ont permis de faire mieux connaître l'approche décentrée vers les modules à l'origine des

16. Il s'agit du début des sons dont il est possible de percevoir différentes parties (« l'attaque », « le corps », « la chute », principalement), notamment en raison de l'évolution de leur intensité au cours du temps.

17. Le spectre d'un son, en acoustique, est une manière d'objectiver ce son selon une approche analytique qui le décompose selon les fréquences de ses différentes parties, à un moment choisi.

18. Les harmoniques sont certaines des composantes du spectre d'un son. Plus précisément, ce sont les composantes sinusoïdales de fréquence f , $2f$, $3f$ (etc.) d'un son périodique de fréquence f .

19. Jean-Claude Risset a présenté sa méthode et ses travaux sur les sons cuivrés notamment dans cet article : Jean-Claude Risset et David Wessel, « Exploration du timbre par analyse et synthèse », dans Jean-Baptiste Barrière (Ed.), *Le timbre, métaphore pour la composition*, Paris, IRCAM et Christian Bourgeois Editeur, 1991, p. 102-131.

20. Jean-Claude Risset, *An introductory catalogue of computer synthesized sounds*, Murray Hill, New Jersey, Bell Telephone Laboratories.

21. Ce catalogue, accompagné d'un enregistrement des sons sur disque vinyle, a fait l'objet en 1969 d'une édition non commerciale. Il a été commercialisé pour la première fois en 1995 dans le CD-livret déjà

sons, propre aux logiciels de la série Music. Ce catalogue fut ainsi important d'un point de vue scientifique, comme mode de diffusion de résultats de recherche²².

Les travaux de Claude Cadoz constituent une autre grande démarche causaliste de recherche technologique et scientifique en filiation avec celle de Max V. Mathews. A l'analyse, le rapport filial serait même plus fort qu'entre Jean-Claude Risset et Max V. Mathews, puisque Claude Cadoz va franchir les étapes suivantes décisives en vue de concrétiser le projet de transformation de l'ordinateur en instrument de musique. Il va en effet aller encore plus loin dans la manière décadrée-recadrée de poser les problèmes du point de vue des causes des sons et de la musique.

Une telle approche l'a d'abord amené à élargir nettement les modes d'utilisation de l'ordinateur pour simuler des réalités physiques. Alors que les logiciels Music permettent de simuler principalement des assemblages d'oscillateurs, les travaux de Claude Cadoz et de l'équipe de l'ACROE visent depuis le milieu des années 1970 à recourir à l'ordinateur pour simuler de la matière, quelle qu'elle soit, ainsi que des actions sur cette matière, afin de la faire entrer en vibration. Autrement dit, il s'agit de donner à l'utilisateur de l'ordinateur la possibilité, d'une part, de construire des corps sonores et instruments de musique et, d'autre part, de faire jouer ces instruments virtuels. Les résultats sonores, d'abord numériques et donc aussi virtuels, sont ensuite réellement audibles via un « convertisseur » et des haut-parleurs.

Le logiciel de synthèse de son mis au point par l'équipe de l'ACROE est disponible depuis le milieu des années 1990. Il a été dénommé GENESIS. Il a nécessité préalablement la conception d'un langage informatique de simulation de réalités physiques : CORDIS. La grande originalité de GENESIS, par rapport aux autres logiciels existants de synthèse sonore par « modèles physiques », est sa « modularité » que l'interface graphique met d'autant plus en valeur.

GENESIS est modulaire car il relève des logiciels du type « masse-interaction ». Il permet de simuler de petites masses (des bouts de matière) et leurs liens. L'utilisateur du logiciel est ainsi en mesure de construire-simuler des corps matériels en assemblant des petits éléments qui sont essentiellement des particules matérielles et des liaisons. Il peut aussi effectuer des paramétrages précis, notamment de la masse des bouts de matière, ainsi que de l'élasticité et de la rigidité des liens. Grâce à l'interface graphique du logiciel, il manipule via l'écran, et avec une souris d'ordinateur, ces différents éléments à la manière d'un jeu de Lego virtuel. Par exemple, l'assemblage d'une enfilade de bouts de matière permettra de construire une corde plus ou moins grave selon la masse des particules de matière ou la rigidité des liaisons ; une plaque sera simulée par la confection d'un réseau très rigide de petits bouts de matière.

Outre les corps matériels et les instruments, le logiciel GENESIS permet aussi de simuler une autre grande catégorie de causes en jeu dans la musique : les actions sur les objets matériels construits, afin de les faire entrer en vibration et de les entendre. Des éléments graphiques sont également disponibles pour indiquer comment, où et quand mettre en action un instrument²³.

mentionné en note 3.

22. Il sera surtout question de ce catalogue *infra*, à propos des enjeux artistiques et créatifs d'une telle démarche en amont des sons.

23. Pour une présentation du logiciel par l'ingénieur de recherche qui l'a développé ces dernières années :

Ainsi la maîtrise des résultats sonores, visés dès le départ ou découverts petit à petit, est-elle possible par un décalage très net vers la genèse matérielle et humaine des sons, et par un travail d'expérimentation avec des corps sonores et des actions simulées. Une des hypothèses de départ de Claude Cadoz et de l'ACROE fut de poser que, étant donné la complexité des phénomènes sonores perçus et du fait musical en général, seules l'étude et la simulation des causes des sons et de la musique étaient vraiment à même de donner une prise sur les sons synthétisés²⁴.

Plus généralement, la conception et le développement du logiciel GENESIS s'inscrivent dans un programme de recherche scientifique et technologique qui vise à théoriser la question des relations causales dans le contexte du recours à l'ordinateur, tant en science que dans les arts. Il sera question plus loin de la pertinence et des prolongements artistiques d'une telle approche en amont des sons, dans le cadre d'activités de création musicale. Pour ce qui est de la démarche scientifique en jeu, les travaux de Claude Cadoz et de l'ACROE se fondent tout d'abord sur une réflexion et une pratique de l'ordinateur en tant que moyen de « représentation ». Parce qu'il n'est pas (et ne sera jamais) un instrument de musique, mais un moyen de le représenter, en le simulant, l'ordinateur est une technologie particulièrement appropriée en vue de l'objectivation des instruments de musique et, plus largement, des diverses causes des sons.

Grâce à un tel outil puissant de représentation, les recherches consistent aussi à prendre en considération les « systèmes » de causes en jeu pour générer des sons. Il faut en effet préciser que les causalités prises en compte ne se limitent pas à la simple relation de cause à effet entre tel corps matériel simulé et tel résultat audible. Il s'agit pour Claude Cadoz de prendre en compte un ensemble de causes et, plus précisément, de « relations causales », le plus souvent des boucles rétroactives. Parmi celles-ci, la relation entre le corps humain et l'ordinateur est importante. Cela a amené l'équipe de l'ACROE à mettre aussi au point, outre des logiciels, des périphériques gestuels de haute technologie, afin de pouvoir prendre en considération toutes les capacités sensorielles et motrices des êtres humains parmi les boucles de cause en jeu.

D'un point de vue plus épistémologique, ce type d'approche relève d'une conception de la causalité qui n'a vraiment pris forme qu'au cours du dernier tiers du xx^e siècle. Cette démarche scientifique cible des « systèmes dynamiques complexes » de causes. Elle se retrouve dans différentes disciplines, mais caractérise notamment les sciences ou spécialités où il est devenu nécessaire de prendre en considération la complexité de systèmes qui évoluent dans le temps et qui relient autant des éléments humains que des facteurs matériels. C'est le cas par exemple, actuellement, des sciences biologiques ou en géographie²⁵.

Par rapport aux autres approches systémiques, celle-ci permet notamment d'étudier et de modéliser des systèmes qui ont plusieurs échelles, locales et globales, et dont la dynamique de transformation tient autant à certaines propriétés des petits sous-systèmes qu'à des caractéristi-

Nicolas Castagné, « L'environnement GENESIS : créer avec les modèles physiques masse-interaction », dans *Actes des Journées d'Informatique Musicale de Marseille*, 29-31 mai 2002, GMEM. <http://www.gmem.org/evenements/jim2002/jim.htm>

24. Claude Cadoz a notamment posé et problématisé ces questions dans l'article : Claude Cadoz, « Timbre et causalité », dans Jean-Baptiste Barrière (Ed.), *Le timbre, métaphore pour la composition*, *Ibid.*, p. 17-46.

25. Voir Laurence Viénot et Claude Debru (Ed.), *op. cit.*, et plus particulièrement, dans cet ouvrage : Jacques Ricard, « Emergence, organisation et causalité dans les systèmes biologiques », p. 179-195.

ques générales. Les phénomènes de seuil et d'émergence sont aussi typiques de ces systèmes qui ont ainsi des effets dits « non-linéaires »²⁶.

D'une manière générale, une telle approche tente de modéliser la multitude de facteurs qui génèrent des « événements », c'est-à-dire des processus qui ont dans le temps un développement complexe et souvent inattendu, surprenant, original. En l'occurrence, dans les recherches de Claude Cadoz et de l'ACROE, il s'agit de prendre en compte, d'objectiver et de maîtriser les systèmes dynamiques complexes de causes qui vont générer, non seulement des événements sonores, mais surtout de la musique inouïe.

DES PARTITIONS-TABLATURES, ÉCRITURE DES CAUSES

Les logiciels de synthèse des sons mis au point et développés grâce aux travaux scientifiques de Max V. Mathews, de Jean-Claude Risset et de Claude Cadoz visaient explicitement dès le départ la composition de la musique et notamment de musiques électroacoustiques dans la filiation de la musique concrète²⁷ ou de la musique électronique. Ils ont permis de donner aux musiciens une très bonne maîtrise des processus de génération de sons et séquences sonores, grâce à une approche plus ou moins décentrée vers les causes des sons. Mais, au-delà du projet de transformation de l'ordinateur en instrument de musique, un autre objectif musicalement tout aussi important a aussi été atteint grâce à ces logiciels : pouvoir écrire la musique et notamment les musiques électroacoustiques qu'il n'était justement plus possible de noter grâce à une partition conventionnelle.

L'originalité au fondement de la musique concrète, puis des musiques électroacoustiques, tient en effet dans le non-recours au système d'écriture musicale sur des portées. Non seulement la partition conventionnelle n'est plus utilisée, mais ce mode de notation n'est pas adéquat pour ces types de musique. Or, les logiciels Music et GENESIS, chacun à leur manière, constituent bien deux manières inédites d'écrire les musiques électroacoustiques et la musique en général.

En 1969, comme il a déjà été écrit plus haut, Jean-Claude Risset établit et commença à diffuser un catalogue de courts programmes informatiques qui permettaient de générer une variété de sons jusqu'ici difficiles à synthétiser numériquement. Ce document permit de mieux faire connaître et comprendre la pertinence scientifique et technologique des logiciels de la famille Music. Ce fut aussi pour les musiciens compositeurs une réalisation importante qui mettaient à leur disposition une série de « partitions de sons », selon la formule de Jean-Claude Risset lui-même.

Les petits programmes informatiques Music V rassemblés dans son catalogue de 1969 permettent en effet de décrire-écrire, sous forme de lignes de texte alphanumérique et à l'aide d'un diagramme, la production d'un son. Ils sont constitués en général (comme il a déjà été expliqué *supra*) de deux parties : une première partie qui consiste en une description de l'agencement

26. Avec ce type de systèmes, la connaissance des conditions initiales ne permet pas de prévoir la dynamique d'évolution, notamment à moyen et long terme. Les effets ne sont pas linéaires en ce sens où ils ne sont pas proportionnels aux causes.

27. C'est-à-dire de musiques à la fois composées grâce au recours à des technologies permettant d'objectiver, de mémoriser et de structurer des sons, et diffusées par haut-parleurs, selon la situation originelle de Pierre Schaeffer au printemps 1948.

des oscillateurs et autres modules simulés, une seconde qui spécifie les paramètres d'entrée en jeu. De ce point de vue, ce sont bien des modes d'écriture d'un son : ils permettent de voir, de lire et de mémoriser la manière de générer un son, en utilisant quelques éléments (les modules) donnés au départ.

Comme Jean-Claude Risset l'explique lui-même dans le catalogue et le donne à entendre par les enregistrements qui l'accompagnent, certains programmes permettent en outre de produire non seulement des sons de quelques secondes, mais aussi des séquences de sons, voire des développements musicaux relativement longs et évolutifs, des phrases musicales structurées. Le logiciel Music V aurait ainsi un potentiel d'usage bien plus large que l'écriture de « partitions de sons ».

A l'analyse et comme ses usages le mettent aussi en évidence, le logiciel Music V permet effectivement de maîtriser par une forme d'écriture autant la génération d'événements sonores relativement brefs que leur composition musicale ; il donne aussi les moyens techniques de mener le travail de structuration qui rend possible le passage essentiel du sonore au musical, la composition des sons en musique. Selon cette perspective, le logiciel Music V est plus qu'un moyen d'écriture des seuls sons, c'est également un système de notation plus complet qui permet l'écriture de partitions musicales à part entière.

Les petits programmes Music V représentent en effet visuellement, donnent à lire, enregistrent, génèrent et structurent musicalement des sons, ceci grâce à un nombre fini d'éléments qui font système. Voilà bien les différentes conditions minimales à réunir pour disposer d'un système d'écriture musicale : pouvoir mémoriser, voir, lire, produire de la musique à l'aide d'un système de signes graphiques²⁸.

D'autre part, l'originalité de ces partitions est d'être plutôt des partitions de type « tablature », en ce sens où elles permettent de noter non pas certains aspects des phénomènes perçus, mais leurs causes, principalement les causes matérielles. Historiquement, la tablature fut le grand système de notation alternatif à la partition conventionnelle, notamment pour le luth et la guitare. Elle permettait d'écrire la musique par une représentation-schématisme des instruments de musique utilisés, ainsi que des manières et des moments de les jouer.

L'approche décadrée vers les causalités est donc aussi liée aux possibilités nouvelles d'écriture des musiques contemporaines grâce à des partitions-tablatures qui permettent de garder en mémoire (c'est le premier grand apport de tout système d'écriture), de voir (c'est la grande différence avec d'autres techniques de mémorisation, comme l'enregistrement sur disques noirs, bandes magnétiques et même l'enregistrement numérique), de lire (après un apprentissage) ce qui est en amont des phénomènes audibles et permet tout la fois de les générer (cet aspect « performatif »²⁹ est essentiel), de les structurer artistiquement et de mettre ainsi finalement les

28. J'ai pour ma part, et pour l'instant, identifié et analysé ces cinq conditions à réunir pour qu'un dispositif technique constitue, à strictement parler, un système d'écriture : la matérialité, la visibilité, la lisibilité, le caractère performatif et le caractère systémique.

Voir Anne Veitl, « De nouvelles formes de musiques orales ? Les technologies de la création musicale et le problème de l'écriture », communication au colloque *Ecrire, décrire le son*, organisé les 23 et 24 mai 2003 par le Domaine de Kerguéhennec, Centre Culturel de Rencontres situé en Bretagne.

29. En linguistique, la performativité fait référence aux signes qui sont aussi des actes : « quand dire, c'est faire », selon le titre en français de l'ouvrage de référence de J. L. Austin (paru au Seuil en 1991

sons en « valeur »³⁰ musicalement (c'est tout l'enjeu de la transformation qualitative des sons en musique).

S'il constitue un système original de notation des sons et de la musique, le logiciel Music V est cependant un outil d'écriture expert réservé aux professionnels de la musique, puisqu'il exige quelques connaissances en programmation informatique, sous la forme de lignes textuelles. Grâce à son interface graphique et à une approche encore plus nettement décalée vers les causalités de la musique, le logiciel GENESIS constitue en revanche un mode d'écriture plus accessible. Il s'agit aussi d'un moyen d'écrire des partitions-tablatures, des tablatures numériques qui permettent non seulement de représenter schématiquement les instruments et les manières (et les moments) d'en jouer, mais aussi de les actionner et entendre, contrairement aux partitions-tablatures de papier.

Comme il a déjà été exposé plus haut, le logiciel GENESIS est utilisable à partir d'une interface graphique qui donne la possibilité de construire, voir, conserver, faire sonner des corps sonores et autres instruments plus élaborés, par un assemblage d'éléments de matière et de liaisons. L'écran de l'ordinateur est l'atelier de travail du luthier-compositeur qui dispose d'un petit nombre donné d'éléments graphiques représentant principalement des bouts de matières et des liens. D'autres signes graphiques permettent d'écrire où, quand et comment faire entrer en résonance les corps matériels construits. Qui connaît le système de signes utilisés peut aussi déchiffrer et pour ainsi dire lire les instruments et actions représentés.

Les différents signes graphiques disponibles sont manipulables avec la souris de l'ordinateur, ce sont en quelque sorte des signes-outils disponibles dans une « boîte à outils » visible sur l'écran de travail. Une partie de ces signes sont de type iconique, en ce sens où les signes de forme ronde représentent les bouts de matière, des traits figurant les liaisons ; d'autres sont plutôt des méta-signes, car ils renvoient à l'intégration de plusieurs autres signes. La spécificité de chaque signe, au sein du système d'écriture, est aussi précisée par sa couleur et sa taille. Les signes graphiques de base à connaître n'excède pas la demi-douzaine.

Le logiciel GENESIS réunit donc bien certaines des conditions minimales pour disposer d'une technologie d'écriture : mémoriser, voir, lire, générer, ceci en utilisant un petit nombre donné de signes visuels facilement compréhensibles. Mais il donne aussi les moyens technologiques de structurer, composer de la musique, au cours du processus d'écriture.

Ce logiciel ne permettrait de représenter, via l'écran de l'ordinateur, qu'un seul et unique corps sonore, même complexe, il ne donnerait pas vraiment la possibilité d'écrire la partition-tablature d'une musique, mais seulement d'un ou quelques sons ; or, l'intérêt de ce logiciel ne réside pas dans les moyens donnés de réaliser des sortes de mobiles ou automates sonores virtuels, mais bien d'écrire des partitions détaillées d'une pièce musicale.

dans la Collection « Points Essais »). Plus généralement, ce terme français permet de saisir combien une technique d'écriture ne permet pas tant de noter ce qui est perçu que de générer, créer, réaliser ce qui va être perçu.

30. Selon le terme proposé par Pierre Schaeffer, dans le *Traité des Objets Musicaux*, pour analyser l'émergence de la musique à partir du travail de mise en structure des sons : les sons prennent différentes valeurs musicales selon le mode et l'échelle de structuration, notamment au moment du travail de montage des sons.

Sur un même écran de travail, il est en effet possible de représenter plusieurs corps sonores, un ensemble composé d'instruments, voire un orchestre d'instruments qui peuvent entrer en vibration à différents moments et interagir. Grâce à une vue synoptique et « zoomable » – si l'on peut dire – de l'ensemble des causes matérielles et temporelles des processus sonores, l'utilisateur est en situation de faire des choix d'instrumentation, d'orchestration et de composition, et ainsi d'opérer le passage subtil et qualitatif du sonore au musical.

Claude Cadoz lui-même a utilisé le logiciel GENESIS pour construire un orchestre de corps sonores et composer la pièce *pico... TERA* dont une première version de 290 secondes a été donnée à entendre en novembre 2001 à Grenoble. Le processus de création a consisté à construire petit à petit, sur une seule page-écran, les différents corps sonores, à les positionner les uns par rapport aux autres, à les « com-poser », à les poser ensemble, pour revenir à l'étymologie du verbe³¹. En expérimentant différentes manières et moments de mettre en vibration les instruments simulés, selon des agencements variés, et en écoutant les résultats sonores obtenus, Claude Cadoz a également petit à petit structuré la musique elle-même, selon une démarche tâtonnante qui est finalement (et paradoxalement) assez schaefferienne, puisqu'elle articule étroitement le « faire et l'entendre »³².

Si elle est « concrète » sous différents aspects, cette démarche de création fait cependant progressivement émerger la musique à partir d'une patiente et précise écriture des causes des événements sonores. La représentation sur l'écran de l'orchestre de corps sonores, ainsi que les différents paramètres visualisables à partir de petites fenêtres (à ouvrir-fermer), forment la partition-tablature de *pico... TERA*, une tablature numérique qui permet donc non seulement la notation, en amont, des sons et de la musique, mais aussi le jeu, le faire, l'agir, et finalement l'entendre, grâce aux potentialités inédites des ordinateurs en matière de représentation.

Ce caractère performatif du logiciel GENESIS se fonde sur des possibilités inexistantes dans les techniques pré-informatiques. Claude Cadoz, dans ses travaux de réflexion générale sur les technologies, a lui-même par ailleurs relevé et analysé cette nouveauté apportée par l'ordinateur qui « inaugure une nouvelle ère de la technologie dont la première caractéristique fondamentale est peut-être cette synthèse essentielle entre le signe et l'acte, la représentation et l'action »³³. Il a formulé depuis de nombreuses années l'hypothèse que de nouvelles formes d'écriture devraient naître de ces possibilités combinées de modélisation, d'interaction, et d'action³⁴.

31. Comme l'a écrit Claude Cadoz dans un article où il a présenté la démarche de composition de cette pièce : Claude Cadoz, « Le modèle physique, métaphore pour la création musicale », dans *Actes des Journées d'Informatique Musicale de Marseille*, op. cit.

32. Pierre Schaeffer avait mis en avant cette formule pour insister sur l'originalité d'une démarche de création fondée sur les relations entre la manipulation des outils technologiques et les résultats sonores perçus, sur des boucles action/perception. Mais, en ce qui concerne le problème de la causalité, son approche en terme « d'objet sonore » l'amena à faire abstraction des actions (électro)acoustiques aux origines des événements sonores perçus ensuite comme des « objets », ceci afin de favoriser et de faire travailler les intentions et la finesse de perception, plutôt que l'identification des causes des processus sonores à partir desquels étaient objectivés les « objets sonores ». Selon Pierre Schaeffer, un travail poussé de la perception nécessitait de détacher de leurs causalités les « objets sonores », ces objets immatériels, mais qu'il faut essayer de percevoir comme s'il s'agissait de matière en soi sans origine précise.

33. Claude Cadoz, *Les réalités virtuelles*, Paris, Flammarion, Collection « Dominos », 1994, p. 101.

34. *Ibid.*, p. 99-100.

Le logiciel GENESIS, en permettant tout à la fois de noter, créer et jouer de la musique, réalise bien cette « synthèse essentielle entre le signe et l'acte » grâce à un système d'écriture en développement depuis 1995, et en cours d'invention depuis les années 1970.

Le décadre vers les causalités, dans le contexte d'un recours scientifique et artistique à l'ordinateur, a donc permis l'élaboration de nouveaux outils de connaissance, de simulation, de création et d'écriture qui invalident les visions trop dualistes : celles notamment entre « modèles de signal » et « modèles physiques ». Une autre grande opposition, aux origines des recours à l'ordinateur par les compositeurs pendant les années 1950, a été aussi remise en cause : celle entre les recherches en synthèse sonore et la « composition assistée par ordinateur »³⁵. Des logiciels comme Music V et GENESIS constituent, pour qui explore en profondeur leurs potentiels d'usage, autant des moyens de générer des sons que d'écrire de la musique³⁶.

Sur le long terme, l'invention de nouveaux modes d'écriture de la musique est certainement le fait historique le plus important. Ces logiciels ont permis d'écrire des musiques qu'il ne semblait plus possible de noter. Ils ont aussi donné les moyens techniques d'écrire les partitions de musiques de style divers, relevant de langages musicaux variés. Or, c'était bien une des nécessités artistiques de la seconde moitié du xx^e siècle.

Le domaine des musiques électroacoustiques et plus généralement de la musique contemporaine se caractérise en effet par la disparition, au cours du xx^e siècle, d'un système de composition partagé, chaque compositeur ayant désormais son propre langage. La situation de la musique contemporaine est celle d'un multilinguisme, surtout depuis une quarantaine d'années. Cela a favorisé la multiplication de différents modes de notation, notamment à partir de l'écriture conventionnelle sur portée, mais les signes et règles proposés n'ont le plus souvent pas d'usages partagés, ils sont propres à chaque compositeur qui doit en expliquer les significations et les modalités pratiques ; de plus en plus souvent, à chaque langage, son écriture.

Selon cette perspective, l'intérêt et l'originalité des logiciels de la famille Music et de GENESIS résident dans le fait qu'il s'agit de modes d'écriture généraux utilisables pour des musiques de tout style (non instrumentales, certes). En abordant les phénomènes sonores et musicaux en amont, ils permettent de contourner les problèmes : ils ne visent plus à représenter certaines des dimensions pensées et perçues de la musique (comme c'est le cas avec les partitions conventionnelles qui représentent les intervalles de hauteur et de durée), car celles-ci sont devenues trop complexes pour être notées. Autrement dit, ces logiciels donnent les moyens d'écrire ce qui est seul désormais maîtrisé, analysable et transmissible, c'est-à-dire les moyens techniques et humains de générer des sons et des musiques.

Ainsi, de la même manière que le premier système d'écriture des langues humaines fut inventé en Mésopotamie, vers le 34^e siècle avant notre ère, dans le contexte d'un plurilinguisme,

35. C'est-à-dire les recherches en informatique qui visent à aider le compositeur à écrire une partition conventionnelle, avec des lignes de portée et des notes de musique.

36. C'est un point qu'a souligné récemment Chris Chafe, à propos justement de la pièce *pico... TERA* de Claude Cadoz, qui serait exemplaire d'une unification entre la « *sound synthesis* » et la « *computer-aided composition* ». Voir Chris Chafe, « Case Studies on Physical Models in Music Composition », dans *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics*, Kyōto, 4-9 avril 2004.

<http://www-ccrma.stanford.edu/~cc/misc-papers/ica04.pdf>

ce qui constitua un facteur déterminant³⁷, de nouveaux systèmes d'écriture musicale ont été élaborés à la fin du xx^e siècle alors que le domaine de la musique contemporaine se caractérise aussi par une multitude de langages de composition musicale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bennett Gerald, « Réflexions sur la culture orale de la musique électroacoustique », dans *Actes I de l'Académie de Bourges, Esthétique et musique électroacoustique*, Bourges, Editions Mnémosyne, 1995, p. 20-25.

Casati Roberto et Dokic Jérôme, *La philosophie du son*, Nîmes, Editions Jacqueline Chambon, 1994.

Christin Anne-Marie (Ed.), *Histoire de l'écriture, de l'idéogramme au multimédia*, Paris, Flammarion, 2001.

Colette Marie-Noëlle, Popin Marielle et Vendrix Philippe, *Histoire de la notation, du Moyen-Age à la Renaissance*, Paris, Minerve, 2003.

Collectif, *Cahiers de musiques traditionnelles. Noter la musique*, n° 12, Genève, Ateliers d'ethnomusicologie, 1999.

Cullin Olivier, « Ecritures », dans *Laborintus. Essais sur la musique au Moyen-Age*, Paris, Fayard, 2004, p. 15-46.

Duchez Marie-Elisabeth, « La représentation spatio-temporelle du caractère musical grave-aigu et l'élaboration de la notion de hauteur de son dans la conscience musicale occidentale », *Acta Musicologica*, Vol. LI, Fasc. I, 1979, p. 54-73.

Duchez Marie-Elisabeth, « La représentation de la musique. Information d'action et expression structurelle dans la représentation de la musique occidentale traditionnelle », dans *Actes du XVIII^e congrès des sociétés de philosophie de langue française*, Strasbourg, Universités des sciences humaines, 1980, p. 178-182.

Duchez Marie-Elisabeth, « Des neumes à la portée. Elaboration et organisation rationnelles de la discontinuité musicale et de sa représentation graphique, de la formule mélodique à l'échelle monocordale », *Revue de musique des universités canadiennes*, n° 4, 1983, p. 22-65.

Duchez Marie-Elisabeth, « L'évolution scientifique de la notion de matériau musical », dans Barrière Jean-Baptiste (Ed.), *Le timbre, métaphore pour la composition*, Paris, IRCAM et Christian Bourgois Editeur, 1991, p. 47-81.

Ducrot Oswald et Schaeffer Jean-Marie, *Nouveau dictionnaire encyclopédique des sciences du langage*, Paris, Seuil, 1995.

Goodman Nelson, « La théorie de la notation », dans *Langages de l'art, Une approche de la théorie des symboles*, Nîmes, Editions Jacqueline Chambon, 1990, p. 165-214.

Ingarden Roman, *Qu'est-ce qu'une œuvre musicale ?*, Paris, Christian Bourgois Editeur, 1989.

37. Comme en font l'hypothèse certains spécialistes de la Mésopotamie. Cette région, carrefour culturel depuis plusieurs millénaires, se caractérisait à cette période non seulement par la cohabitation de peuples parlant différentes langues, mais aussi par le bilinguisme, voire le multilinguisme de nombreuses personnes, notamment des élites. Cela aurait été un facteur déterminant dans l'invention de l'écriture, en favorisant (par la comparaison) la réflexion, l'étude phonologique et morphologique des langues, et l'idée de les objectiver dans des signes visuels. Voir notamment Jean-Jacques Glassner, « L'écriture cunéiforme », *La Tour de Babylone. Que reste-t-il de la Mésopotamie ?*, Paris, Seuil, 2003, p. 176-198.

- Leroi-Gourhan André, « Les symboles du langage », dans *Le geste et la parole*, tome I, Technique et langage, Paris, Albin Michel, 1964, p. 261-300.
- Molino Jean, « Fait musical et sémiologie de la musique », *Musique en jeu*, n° 17, 1975, p. 37-62.
- Molino Jean, « Expérience et connaissance de la musique à l'âge des neurosciences », dans Etienne Darbellay (Ed.), *Le temps et la forme. Pour une épistémologie de la connaissance musicale*, Genève, Droz, 1998, p. 253-272.
- Regnault Cécile, « Correspondances entre graphisme et son : les représentations visuelles de l'objet sonore », dans Dallet Sylvie et Veitl Anne (Ed.), *Du sonore au musical. Cinquante années de recherches concrètes (1948-1998)*, Paris, L'Harmattan, 2001, p. 307-337.
- Savouret Alain (en dialogue avec Anne Veitl), « La musique dans une perspective phonoculturelle », *Lyre* (n° 3), *Du son à la musique : faire et entendre à l'école*, Actes (établis par A. Veitl) du colloque organisé en décembre 1999 à Villeneuve d'Ascq par le CFMI de Lille et la Cité de la musique de Paris-La Villette, Villeneuve d'Ascq : CFMI-Université de Lille III, 2001, p. 33-35.
- Schaeffer Pierre, *A la recherche d'une musique concrète*, Paris : Seuil, 1952.
- Schaeffer Pierre, *Traité des Objets Musicaux. Essai Interdisciplines*, Paris, Seuil, 1966.
- Souchier Emmanuël, Jeanneret Yves et Le Marec Joëlle (Ed.), *Lire, écrire, récrire. Objets, signes et pratiques des médias informatisés*, Paris, BPI-Centre Georges Pompidou, Collection Etudes et recherche, 2003.
- Stiegler Bernard, « Programmes de l'improbable, court-circuits de l'inouï », *InHarmoniques*, n° 1, 1986, p. 126-159.
- Veitl Anne, « L'écriture de la révolution scientifique de la musique (1948-1972) », dans *Politiques de la musique contemporaine*, thèse pour le doctorat en sciences politiques, menée sous la direction de Mr le Professeur François d'Arcy, soutenue le 6 décembre 1993, Université des sciences sociales de Grenoble, p. 63-82.
- Veitl Anne, *Ecriture et "auralité" des musiques électroacoustiques : Schaeffer, Risset, Cadoz*, Conférence (texte/son/image) à l'Ircam-Centre Georges Pompidou, lundi 2 février 2004 (inédit).

