

DE NOUVELLES FORMES DE MUSIQUES ORALES ?
LES TECHNOLOGIES DE LA CREATION MUSICALE
ET LE PROBLEME DE L'ECRITURE

Anne Veitl
Observatoire Tscimuse / Grenoble

1. Retrouver un système d'écriture perdu ?

En 1966, un important traité de musique était publié en France, le *Traité des Objets Musicaux, Essai interdisciplines*. Son auteur, Pierre Schaeffer, y exposait le premier bilan conséquent de plusieurs années de travaux collectifs de recherche dont le grand objectif était de fonder et communiquer un nouveau solfège. Un solfège ?

Un solfège, c'est-à-dire les connaissances élémentaires permettant de faire de la musique ; non pas tant une théorie de la musique que les savoirs de base pour la pratiquer et l'écouter ; et, à ce titre, non pas davantage un traité de l'art de composer, mais un préalable essentiel en vue de faire de la musique, notamment selon une perspective inventive ou créative¹.

L'ambition du *Traité des Objets Musicaux* était de proposer le solfège le plus général qui soit, pertinent et opératoire pour toutes les musiques, y compris celles qu'il n'était pas possible de noter grâce aux symboles de la partition conventionnelle. Le grand apport de ce traité de musique fut de proposer des manières de pratiquer la musique sans le recours à un système de notation.

Depuis la fin des années 1940, les musiques sans écriture au centre des préoccupations de Pierre Schaeffer étaient les musiques dites "électroacoustiques", un nouveau courant de création musicale dont il fut le pionnier et qu'il avait pour sa part d'abord dénommé la "musique concrète". L'originalité fondatrice de ces pratiques de composition musicale consistait en effet dans la démarche "concrète" de création alors adoptée : le musicien désormais composait manuellement, tout en écoutant ce qu'il était en train de composer, sans recourir à un système d'écriture. Cela était techniquement possible parce que le compositeur se retrouvait en situation de manipuler concrètement et de monter ensemble des sons mis en mémoire et objectivés sur un support matériel.

¹ Comme Pierre Schaeffer tient à le préciser dès le début de son traité, en page 11, où il explique que ce nouveau solfège ne vise pas directement l'enseignement de la composition, mais doit permettre de "poser convenablement le problème de la composition".

Au printemps 1948, Pierre Schaeffer avait eu recours à des disques souples, à des tourne-disques et aux différents outils électro/acoustiques disponibles dans les studios de radio de l'époque. Quelques années plus tard, les compositeurs allaient utiliser plutôt des magnétophones et des bandes magnétiques comme supports de mémoire, moyens d'objectivation et outils de composition manuelle des sons.

La création concrète de musique a été au départ fondamentalement liée au non-recours aux symboles conventionnels de la musique sur des lignes de portée. Mais Pierre Schaeffer lui-même ne manqua pas de relever l'attente d'un nouveau système de notation parmi les compositeurs qui utilisaient désormais les technologies électro/acoustiques ; et son avis était tranché. Il présentait cela comme la "revendication têtue des musiciens devant toute nouvelle source de sons ou toute nouvelle façon de les modeler et de les assembler", musiciens qui sitôt questionnaient : "où est la notation ?".

Pierre Schaeffer y répondait ainsi :

"Question naïve. Il n'y a pas de notation, et, pour le moment, il *ne doit pas* y en avoir : toute notation prématurée est non seulement impossible, mais néfaste"².

Pour autant, depuis les années 1960, de nombreux travaux de recherche ont bien été menés en vue de retrouver un système d'écriture. Différentes voies ont été explorées, et diverses solutions proposées et expérimentées. Pour cela, outre les moyens électro/acoustiques, des technologies nouvelles ont été mobilisées, principalement l'ordinateur. En France, les travaux en informatique en vue de disposer de nouveaux moyens de création musicale constituent depuis une trentaine d'années un domaine très vivant de recherches technologiques et scientifiques.

Les outils qui sont issus de ces recherches exigent cependant d'être interrogés, analysés et critiqués. Et une première question se pose : de nouvelles formes et supports d'écriture, alternatifs au système de notation et à la partition conventionnels, ont-ils pu être élaborés grâce aux ordinateurs et à l'informatique ?

Différents logiciels mis au point à partir des années 1960 permettent effectivement de créer des sons et de la musique grâce à des langages et des programmes informatiques. Il est aussi parfois techniquement possible de visualiser sur l'écran de l'ordinateur les sons et les musiques, selon plusieurs modes. Mais il faut se demander si ces langages et types de visualisation constituent des formes originales d'écriture ou à tout le moins leur germes.

² Pierre Schaeffer, 1966, *Traité des objets musicaux. Essai interdisciplines*, Paris : Seuil, p. 492 (c'est Pierre Schaeffer qui souligne).

Et cela amène une autre question : sous quelles conditions des notations ou images constituent-elles, à strictement parler, un système d'écriture ? Et comment qualifier les autres procédés de visualisation des sons et des musiques, qui ne seraient éventuellement pas des écritures ?

Enfin, en suivant Pierre Schaeffer dans sa radicalité et sa manière unique de déstabiliser les certitudes les plus assises, une dernière question est à soulever dans cette introduction : est-il pertinent et nécessaire de tenter de retrouver un système d'écriture ?

2. Le cas d'étude des recherches technologiques en vue d'outils pour la pédagogie des musiques électroacoustiques

Parmi les différents travaux de recherche technologique et scientifique menés depuis les années 1960, plusieurs ont porté en France sur des outils utilisables dans le cadre d'activités pédagogiques. Une des principales directions de recherche a concerné des outils pour la pédagogie des musiques électroacoustiques. Cela fait ainsi près d'une quarantaine d'années que des musiciens et chercheurs travaillent à l'élaboration de nouveaux moyens technologiques adaptés à l'enseignement de la composition concrète. Les outils mis au point sont en général destinés autant aux futurs compositeurs professionnels qu'aux musiciens amateurs, y compris les enfants les plus jeunes, même ceux qui ont l'âge d'aller à l'Ecole Maternelle.

Toute situation pédagogique amène à expliciter, à mettre à plat les problèmes en jeu. Les différentes recherches entreprises en vue d'outils technologiques pour la pédagogie des musiques électroacoustiques constituent de ce point de vue autant de cas d'étude particulièrement intéressants, notamment pour comprendre et analyser comment (et si) le problème de l'écriture des sons et des musiques a été posé par les concepteurs et les utilisateurs de ces outils.

Au cours des années 2000 et 2001, j'ai réalisé, à la demande du ministère de la Culture et de la Communication français, une enquête à propos d'un ensemble de ressources technologiques utilisables et utilisées dans l'enseignement musical, dans le cadre d'activités pédagogiques tournées vers la pratique de l'invention et de la création musicale électroacoustique. L'enquête a porté sur une vingtaine d'outils mis au point ou en cours de développement depuis les années 1970 et jusqu'aux années 1990.

L'échantillon d'outils pris en considération est assez divers, mais tous constituent des moyens pour écouter et/ou pratiquer les musiques électroacoustiques. Il s'agit d'outils utilisés dans les trois grands secteurs de l'enseignement musical : le système spécialisé sous tutelle du ministère de la Culture (écoles de musique et conservatoires), les établissements relevant du ministère de l'Education nationale, et le monde associatif.

A partir d'une présentation critique de chacun des outils, étudiés sous les angles de leurs caractéristiques techniques, de l'histoire de leur conception, des modalités et contextes effectifs de leurs utilisations, l'enquête a permis d'analyser les différents potentiels d'usage des ressources technologiques disponibles et leurs modes d'appropriation dans des situations pédagogiques³.

Du point de vue de la question de l'écriture des sons et de la musique, cet ensemble d'outils forme également une collection intéressante et pertinente pour étudier les différentes manières de poser et de tenter de résoudre les problèmes en jeu. Selon cette perspective, trois types d'outils ont pu être différenciés à partir de l'échantillon de logiciels et de dispositifs technologiques considéré dans l'enquête menée en 2000-2001.

Dans un premier temps, il est possible de les caractériser ainsi :

- les outils qualifiables de manuels,
- les outils de visualisation,
- les logiciels de lutherie.

Ces trois classes d'outils permettent, à l'analyse, de cerner et mieux comprendre trois transformations en jeu, et tout d'abord celle de "l'auralité" des pratiques concrètes de la musique.

3. Outils manuels et "auralité" de la musique

D'une manière générale, quel que soit le niveau de pratique, la composition de musiques électroacoustiques pose trois grands problèmes, liés, qu'il faut, en préalable, rappeler en quelques points.

- L'enjeu central est propre à tous les moyens de pratique de la création électroacoustique : celui de la composition des sons en une pièce de musique, de la structuration de la musique, ceci depuis les détails jusqu'au niveau le plus global.

Pour les musiques écrites conventionnellement, l'écriture de la partition de notes de musique est le processus par lequel une pièce musicale est petit à petit architecturée, à différentes échelles. Mais comment le compositeur concret procède-t-il ?

La composition musicale concrète a la particularité de mettre en jeu une transformation des sons en musique, un passage du sonore au musical, au cours du travail de montage et de mixage, principalement. Ce processus est d'ordre qualitatif, en ce sens où il consiste moins en une combinaison ou une combinatoire de sons qu'en une véritable

³ A. Veitl, 2001, *Quelles ressources technologiques pour renouveler les pédagogies de la musique ? Présentation critique d'outils*, rapport d'enquête pour la DMDTS-ministère de la Culture et de la Communication.

métamorphose par laquelle les sons prennent différentes “valeurs”⁴ musicales, selon les échelles de mise en structure que permet notamment le montage.

Le passage du sonore au musical peut-il être néanmoins écrit, selon d’autres modalités que le recours aux symboles des notes de musique sur des lignes de portée ?

- Comme Pierre Schaeffer y insiste dans le *Traité des Objets Musicaux*, un autre enjeu est celui du niveau élémentaire, celui des unités sonores, des sons isolés et isolables.

Pierre Schaeffer avait explicitement une “ambition de l’élémentaire”, comme il disait. Cela l’amena à aborder le domaine des sons et de la musique en terme “d’objets” : “objets sonores” et “objets musicaux”. Ces objets sont immatériaux, ce sont des objets de perception, les résultats d’intention d’écoute qui visent à isoler des unités élémentaires. Mais faut-il, est-il possible de les écrire, afin de retrouver l’équivalent de la note de musique au fondement de la discrétisation de la musique depuis près de dix siècles ?

- Enfin, se pose le problème de la maîtrise du temps qui passe, des manières de le visualiser et de le codifier, de le séquencer et de le ponctuer.

Comme leur cousin germain le cinéma, les musiques électroacoustiques, plus encore que les autres pratiques musicales, font partie des arts ciné(ma)tiques et donc spatio-temporels. Le recours à des moyens d’enregistrement et les procédés de montage sont des moyens d’inscrire et de projeter sur des supports matériels (et de ce fait sur une surface ou un axe) le temps qui passe. Mais dans quelle mesure cela permet-il au compositeur de disposer de modes d’écriture du temps ?

Ceci posé, venons-en aux outils de type manuel mis au point en vue d’activités de pédagogie musicale dans le domaine des musiques électroacoustiques.

L’enquête menée en 2000-2001 a permis d’étudier quelques-uns des plus anciens outils construits en vue de la pratique de la composition électroacoustique, à partir des années 1970. Ils ont tous été conçus dans le but d’ouvrir à des non-professionnels de la musique, ainsi qu’aux enfants les plus jeunes, l’accès à une pratique de la création musicale.

Le principe technique général de ces technologies est de donner la possibilité à quiconque de produire, de transformer et de composer en direct des sons, grâce à des opérations manuelles simples, de type maniement d’un potentiomètre, d’un curseur, d’un bouton ou d’un petit joystick. Le but, du point de vue pédagogique et musical, est la mise en place d’activités fondées essentiellement sur la relation et la coordination entre les mains et les oreilles, c’est-à-dire entre des actes manuels, les sons qui en résultent et les perceptions de ces sons. Ces outils manuels ont été aussi conçus pour des utilisations en général collectives, par un groupe de personnes mises en situation de créer ensemble de la musique en manipulant de concert les outils à plusieurs.

⁴ Selon le terme proposé par Pierre Schaeffer à propos de l’émergence de la musique à partir du travail de mise en structure de sons.

Selon ces principes ont été notamment conçus et construits un mini-studio électroacoustique mobile et un mini-synthétiseur électronique modulaire. Le mini studio portable a été inventé à partir des années 1970 par le Groupe de Musique Expérimentale de Bourges, le GMEB⁵, d'où le nom de Gmebogosse⁶ pour cet outil. Le mini-synthétiseur a été baptisé MéliSSon et il a été élaboré au cours des années 1980 par le Groupe de Musique Expérimentale d'Albi (le GMEA).

Il s'agit de technologies dites analogiques, c'est-à-dire sans recours à l'informatique. Elles permettent soit de générer des sons grâce à des oscillateurs électroniques (le MéliSSon), soit de capter des sons extérieurs en direct ou d'utiliser des sons pré-enregistrés (le Gmebogosse), et ensuite de mener un travail de transformation et de composition collective de tous ces sons.

Avec ces outils à utiliser concrètement, manuellement, il n'existe pas de possibilités techniques de visualiser quoi que ce soit ; et s'il est possible d'enregistrer des sons, les utilisateurs ne peuvent pas procéder à un montage de ces sons sur une bande magnétique (ou avec un ordinateur et un logiciel), comme dans un studio de création électroacoustique professionnel. Les activités pédagogiques menées grâce au Gmebogosse ou au MéliSSon s'appuient donc essentiellement sur les relations de cause à effet entre des actions manuelles et des résultats sonores immédiatement perçus ou, plus précisément, sur des phénomènes de boucles action/perception.

Du point de vue du problème de l'écriture tant des éléments sonores, de la musique que du temps, ces outils manuels ont été ainsi conçus pour des pratiques musicales non-écrites, fondamentalement et volontairement non-écrites.

- Ces outils permettent en effet de générer et percevoir des sons isolés et isolables, mais il n'est techniquement pas possible de les noter ou de les visualiser.

Un des buts des activités pédagogiques est bien, cependant, de mener un travail d'identification des unités sonores produites et entendues. Par le maniement de ces outils, l'objectif est de produire, écouter et caractériser des "objets sonores", ces objets immatériels qui naissent précisément de la rencontre entre des actions électro/acoustiques et des intentions de perception⁷.

C'est en fait par le recours aux mots du langage verbal qu'une identification des sons élémentaires est réalisée. Il s'agit, tout en manipulant les dispositifs technologiques (ou bien avant, ou après), de décrire verbalement les sons. Cette activité de dénomination est en général menée en liaison avec un travail de classement des sons, notamment grâce au

⁵ Devenu depuis l'IMEB : Institut de Musique Electroacoustique de Bourges.

⁶ Puis de "Cybersongosse", plus récemment.

⁷ Selon une des définitions de "l'objet sonore" (celle-ci page 271 du *Traité des Objets Musicaux*) formulées par Pierre Schaeffer.

vocabulaire et aux principes de classification proposés par Pierre Schaeffer dans le *Traité des Objets Musicaux*.

Les sons sont ainsi parlés plutôt qu'écrits, ils sont objets d'un discours verbal qui tente de les caractériser, qualitativement avant tout.

- Avec les outils de type manuel, il n'est pas davantage possible d'écrire la musique, de maîtriser par un système de notation le passage du sonore au musical.

D'une manière générale, la musique prend forme au cours de jeux collectifs en direct, c'est-à-dire de séances de tâtonnements et d'expérimentations. La musique émerge et se structure ainsi grâce à une écoute réciproque des différents joueurs et à une coordination entre les oreilles et les mains, entre la perception des sons générés et le maniement des outils.

Et même si les résultats de ces expérimentations en groupe sont éventuellement enregistrés et donc réécoutables, cette mise en mémoire des jeux musicaux n'est pas, à strictement parler, une écriture musicale. L'enregistrement des sons et de la musique constitue en effet une inscription et une mémorisation, et non pas une forme d'écriture.

- Enfin, pour ce qui est du problème de l'écriture du temps qui passe, les pratiques musicales et pédagogiques menées avec des outils manuels mettent en jeu une forme de temporalité qualifiable de "temps vécu", différente du temps objectif, mesuré, séquencé et visualisé, comme il peut l'être sur une partition conventionnelle. C'est en ce sens qu'elles sont aussi des pratiques de musique non-écrite.

Les jeux collectifs de création électroacoustique en direct, avec le Gmebogosse ou le Mélisson, se rapprocheraient, de ce point de vue, de la situation des musiciens (en jazz, par exemple) improvisant à plusieurs avec leurs instruments acoustiques ou leur voix. L'écoute réciproque du jeu des autres musiciens et la manière dont chacun ressent subjectivement et corporellement le temps qui passe y sont centrales.

Selon cette perspective, ces outils dits manuels sont également des moyens technologiques pour des pratiques orales de la musique, et même "aurales" (s'il est possible d'accepter ce néologisme et ce français). Conçus pour pratiquer la création électroacoustique sans aucun recours à des moyens de notation, ces outils relèvent des musiques orales, en ce sens où, comme il vient d'être expliqué, :

- ces musiques ne sont pas écrites par quelque système d'écriture ;
- elles mettent en jeu un travail d'identification des "objets sonores" grâce à l'oral, c'est-à-dire ici au verbal, au langage parlé ;
- elles se fondent sur un travail d'écoute, sur la "primauté de l'oreille" (comme disait Pierre Schaeffer), ce qui m'a amenée à forger ces termes "aural" et "auralité", afin d'insister sur oral au sens d'auditif, d'audition, d'auriculaire, et pour faire un clin d'oeil au mot anglais *aural*.

4. Outils de visualisation et annotation de la musique

Au cours de mon enquête, j'ai pu remarquer une attitude assez ambivalente des musiciens et des enseignants à propos du recours, ou pas, à des moyens pour visualiser les sons, la musique et le temps, notamment dans le cadre d'activités pédagogiques avec de jeunes enfants. D'une manière générale, il est fréquent qu'ils leur demandent de dessiner les sons et séquences sonores qu'ils leur font écouter ; réciproquement, les enseignants proposent parfois aux enfants de produire des sons à partir de dessins que les adultes ont préparés. Les enseignants de musique seraient ainsi demandeurs d'outils qui permettraient de mettre en correspondance le sonore et le visuel, afin de s'appuyer sur la coordination entre l'oeil et l'oreille, ce qui est en général très pertinent dans une perspective pédagogique.

Pourtant, dans le même temps, les mêmes personnes sont assez critiques et dubitatives devant certains des outils disponibles et principalement les logiciels qui permettent de visualiser la forme d'une onde sonore, ou les différences fréquences des composantes d'un son, ou bien l'évolution de l'intensité d'un son pendant quelques secondes, ou encore l'évolution à la fois des fréquences et de l'intensité, etc... Leur critique consiste à dire que ce sont des modes de visualisation très peu lisibles par des non-experts, parce que les images qui en résultent ne permettent pas, ou difficilement, d'établir un lien entre ce qui est vu et ce qui entendu.

Il faut en effet convenir que la plupart des outils de visualisation existant sont en fait des outils d'analyse scientifique qui permettent de produire différentes images analytiques des ondes sonores. Ce sont avant tout des moyens pour objectiver et étudier certaines des composantes d'un signal acoustique. De ce point de vue, il s'agit de moyens technologiques qui ne permettent vraiment ni d'écrire, ni de décrire un son, mais qui consistent plutôt à extraire et à inscrire quelques aspects d'un son parmi beaucoup d'autres tout aussi importants pour identifier le son en question.

En tant qu'outils d'analyse scientifique, ces moyens de visualisation sont assez peu appropriés pour saisir synthétiquement des sons ; et ils le sont encore moins pour en produire et les entendre. D'une manière générale, ce sont en effet des outils performants pour générer des images à partir d'un son, mais la réciproque ne fonctionne pas aussi bien : produire des sons à partir de leurs images scientifiques.

Ces limitations et contraintes expliquent les difficultés jusqu'ici rencontrées pour concevoir et réaliser des outils de visualisation opératoires et facilement utilisables dans le cadre d'activités pédagogiques avec des enfants ou des jeunes. Quelques dispositifs technologiques ont cependant été élaborés et notamment la machine UPIC, inventée par le compositeur Iannis Xenakis à partir des années 1970. Mais a-t-elle effectivement permis de surmonter les obstacles d'une visualisation des musiques électroacoustiques ?

La machine UPIC est un dispositif technologique bâti autour d'un ordinateur. Dans sa première version, elle reliait une table à dessiner d'architecte et un logiciel pour générer des sons. Les dernières versions sont utilisables avec seulement un ordinateur équipé d'une "souris" pour dessiner directement sur l'écran.

Le principe de cette machine est de permettre à l'utilisateur de réaliser différents types de dessins pour produire à la fois des sons et les composer ensemble, musicalement. Les dessins effectués permettraient de maîtriser tout à la fois la génération de sons isolés, de certaines des structures de la pièce musicale, et du temps. Mais ce dispositif, à l'analyse, a plusieurs talons d'Achille.

Les trois types de dessin techniquement possibles sont en effet :

- le dessin de la forme de l'onde sonore et de l'évolution de l'intensité d'un son au cours du temps (soit "l'enveloppe") ; il s'agit là de deux images de type analytique et scientifique ; mais, comme il vient d'être dit, s'il est possible d'extraire des images de la sorte à partir d'un son donné, la démarche inverse (générer un son à partir d'une image dessinée) ne va pas de soi, car il est en général très difficile d'avoir une maîtrise de ce qui va être produit et perçu. Le lien entre ce qui est dessiné et ce qui est ensuite entendu n'a rien d'évident, car il n'existe pas de relation causale simple (ou il s'agit de causalités très complexes), ce qui rend très peu opératoire ces moyens de visualisation pour parvenir à écrire (et même décrire) des sons isolés ;
- le dessin d'un "arc", c'est-à-dire l'évolution au cours du temps qui passe (figuré par l'axe horizontal) des valeurs de hauteur de plusieurs sons ;
- le dessin de plusieurs "arcs", pour représenter l'agencement de plusieurs séquences sonores, éventuellement synchrones.

A priori, la visualisation des "arcs" d'évolution des valeurs de hauteur des sons pose moins de problèmes que les dessins des ondes et des "enveloppes" sonores, car la hauteur (plus ou moins grave ou aiguë) est facilement représentable graphiquement dans un espace à deux dimensions et par rapport à un axe vertical, comme c'est déjà le cas avec la partition conventionnelle. Il reste que, pour la composition électroacoustique, la maîtrise des seules valeurs de hauteur est insuffisante pour créer de la musique, pour opérer le passage du sonore au musical. La transformation en jeu est beaucoup plus complexe (ou simplement différente de) qu'un agencement "d'arcs" de hauteurs.

Ces difficultés et impasses ont amené certains musiciens et chercheurs à explorer d'autres manières, plus limitées, de visualiser les sons, la musique et le temps qui passe. La limitation admise consiste à ne recourir à des images ou dessins que pour visualiser ce qui est entendu, et non pas pour générer des événements sonores et musicaux. Le but est ainsi de réaliser des sortes de guides visuels d'écoute.

Parmi ces types d'outils, il faut mentionner l'Acousmographe, en cours de développement au Groupe de Recherches Musicales de l'Institut National Audiovisuel.

Ce logiciel dont la première version date de la fin des années 1980 permet à l'utilisateur de dessiner sur l'écran de l'ordinateur des graphismes de son choix, en s'appuyant sur certaines images scientifiques de sons, comme le "sonagramme" (l'évolution dans le temps des différentes fréquences des composantes d'un son). A partir de données analytiques, l'utilisateur va pouvoir ensuite souligner, par des graphismes de différentes formes et couleurs (qu'il choisit lui-même), certaines caractéristiques et moments des sons et de la musique, afin de donner des repères et faciliter ainsi l'écoute.

L'hypothèse au fondement d'un outil comme l'Acousmographe est de considérer que s'il n'est pas possible de disposer d'un système de symboles visuels pour coder et noter les sons entendus et à générer, il est néanmoins pertinent de s'appuyer sur différents types d'homologies convenues entre le visuel et l'auditif, sur des correspondances admises entre le graphisme et le sonore, ceci dans le but, avant tout, d'attirer l'attention de l'auditeur sur certains aspects de la musique qu'il écoute.

A défaut de pouvoir écrire ou même décrire les sons et la musique, il s'agit là de tenter, plus modestement, de les annoter, grâce à des graphismes ou des images visibles dans le temps de l'écoute. De ce point de vue, les moyens de visualisation des musiques électroacoustiques pour l'instant disponibles seraient, à strictement parler, plutôt des outils d'annotation. Ils ne permettent vraiment ni de noter, ni de décrire les sons et la musique entendue, mais d'adjoindre des éléments visuels pour aider à guider et affiner leur perception.

5. Logiciels de lutherie et écriture de la musique

Les logiciels de lutherie forment un troisième ensemble de moyens de création électroacoustique. Mis au point à partir de la fin des années 1950, d'abord à destination des compositeurs professionnels, ils sont utilisables et utilisés depuis les années 1990 par des musiciens amateurs et des adolescents dans le cadre d'activités pédagogiques.

Il s'agit de programmes informatiques qui permettent de générer des sons, de faire de la "synthèse numérique" de sons, comme disent les spécialistes. L'ordinateur est ici utilisé comme moyen de produire et entendre des sons et séquences sonores, comme une lutherie pour faire de la musique.

Du point de vue de la question de l'écriture des musiques électroacoustiques, le principe de ces logiciels repose sur un premier constat : puisqu'il n'est plus possible d'écrire (ni

même de décrire) les sons et les musiques entendues, décalons l'approche vers les moyens de faire de la musique.

Ces décadage et recadrage des enjeux ont été le fait de musiciens qui étaient aussi des chercheurs scientifiques en informatique. Cela n'est d'ailleurs pas étonnant, puisque les chercheurs sont bien les spécialistes du décadage-recadrage des problèmes !

Ces recherches scientifiques ont été amorcées aux USA au cours des années 1950. En France, les travaux en synthèse numérique des sons débutent au cours des années 1970, mais il faudra attendre la décennie 1990 pour que des logiciels simples d'usage soient disponibles. Non seulement ces programmes informatiques ont permis d'élargir la palette des outils de création électroacoustique, mais ils amènent, à l'analyse, à reposer sous de nouveaux angles la question de l'écriture de la musique.

Les tout premiers logiciels de lutherie ont été mis au point par une équipe de chercheurs américains, dirigée par Max Mathews, au sein des Laboratoires de la Compagnie Bell Telephone. Ce sont les fameux logiciels de la série "MUSIC N" et notamment les versions MUSIC 3, 4 et surtout 5, disponible à partir de 1967.

Le projet de Max Mathews était de transformer l'ordinateur en un instrument de musique. En fait, il s'est agi, plus exactement, d'utiliser l'ordinateur comme moyen de représentation, non pas à strictement parler des instruments de musique, mais d'une partie de la chaîne électro/acoustique, de la chaîne électrique et sonore par laquelle les musiques électroacoustiques sont composées, et dont les derniers maillons sont les haut-parleurs. Pour cela, Max Mathews a mis au point un logiciel qui permet d'une part de simuler des oscillateurs électriques et différents autres modules, et d'autre part d'assembler tous ces modules d'une infinité de manières. Le décadage-recadrage des problèmes a donc consisté à représenter en langage informatique une partie de la chaîne électro/acoustique de génération des sons.

La simulation informatique d'oscillateurs permet de générer des ondes virtuelles, transformées ensuite en signaux électriques réels, puis en ondes sonores audibles, via un "convertisseur" et des haut-parleurs. Les sons produits varient selon les types d'ondes simulées, ceci du fait de l'homologie entre les phénomènes électriques et les ondes sonores.

Ces recherches menées aux USA ont été introduites en France à la fin des années 1960 par le compositeur et chercheur Jean-Claude Risset qui a été un proche collaborateur de Max Mathews, puisqu'il est allé réaliser une partie de sa thèse de physique dans son équipe de recherche, avant de revenir travailler dans les universités françaises, à l'IRCAM (Centre Georges-Pompidou), puis au CNRS. Le rôle de Jean-Claude Risset a été central dans la diffusion du logiciel MUSIC 5 auprès des compositeurs contemporains, mais il a

aussi permis de faire comprendre combien ce type de logiciel ne permettait pas seulement de produire des sons, des séquences sonores, voire des développements musicaux, mais bien de les écrire.

Jean-Claude Risset lui-même parle souvent de ce logiciel comme d'un moyen pour écrire des "partitions de son". Effectivement, ce programme informatique donne la possibilité de représenter précisément, visuellement et de manière lisible, à l'aide d'un nombre fini de modules donnés, la manière de produire des événements sonores ou une phrase musicale, et de garder tout cela en mémoire. Cela constitue bien la première tentative, aboutie, d'écriture des musiques électroacoustiques⁸.

Il reste qu'un logiciel du type MUSIC 5 exige de connaître la programmation informatique, sous forme de lignes de textes. De ce point de vue, c'est un système d'écriture qui reste réservé à des experts et à des compositeurs professionnels.

En France, il a fallu attendre le milieu des années 1990 pour que des logiciels de lutherie d'un usage beaucoup plus simple, sans connaissance informatique, soient mis au point et disponibles pour mener des activités pédagogiques avec des professionnels de la musique comme avec des musiciens amateurs. Une équipe de recherche de Grenoble, l'ACROE, co-dirigée par Claude Cadoz, a ainsi conçu un logiciel de synthèse numérique des sons d'un nouveau type.

Ce logiciel est d'abord exemplaire d'une approche décalée et recadrée de la musique et des processus de création artistique. Il permet en effet de produire, entendre et composer des sons à partir des différentes "causes" (comme dit Claude Cadoz lui-même) des événements sonores : c'est-à-dire à partir des moyens et des modalités de génération des sons et de la musique audibles. Mais, à la différence des logiciels de la série MUSIC, il ne s'agit pas d'utiliser l'ordinateur pour représenter et simuler certains des maillons de la chaîne électro/acoustique et principalement des oscillateurs. Le logiciel mis au point par l'ACROE est plus ouvert et général puisqu'il permet de simuler des instruments de musique, des lutheries, depuis les corps sonores les plus simples (une corde, un gong par exemple) jusqu'aux instruments les plus élaborés. Il permet de les construire, mais aussi de les faire jouer et entendre.

Concevoir un tel logiciel a nécessité dans un premier temps l'invention d'un langage informatique de simulation de la matière physique, une matière qui puisse entrer en vibration à la suite d'actions. Ces recherches menées par l'ACROE à partir des années 1970 ont abouti au langage dénommé CORDIS. Elles s'inscrivent dans le domaine dit aujourd'hui des "réalités virtuelles", dont l'ACROE a été une des pionnières au monde.

⁸ Pour voir des "partitions de sons" et entendre les sons générés, se reporter notamment au "Catalogue de sons" que Jean-Claude Risset avait préparé en 1969 et qui a été édité sur CD (avec un livret) en 1995 chez WERGO (distribution par Schott en Allemagne) : *The historical CD of digital sound synthesis*, Computer Music Currents 13, WER 2033-2.

Dans un second temps, à partir de ce langage informatique, a donc été mis au point un logiciel utilisable sans aucune connaissance informatique, grâce à une “interface graphique”, comme disent les spécialistes. Ce logiciel s’appelle GENESIS et sa première version date du milieu des années 1990, ainsi que les premières activités pédagogiques avec cet outil de création électroacoustique.

Le grand principe (tout à la fois technique, artistique et pédagogique) de cet outil de composition est de donner aux utilisateurs la possibilité de construire, sur l’écran de l’ordinateur, grâce à des éléments graphiques, des corps sonores qu’il est aussi possible d’entendre en les faisant entrer en vibration. Il s’agit de corps sonores simulés, virtuels, qui sont mis également virtuellement en vibration, mais le résultat sonore est lui bien audible, via les haut-parleurs.

Plus précisément, l’utilisateur du logiciel GENESIS dispose sur l’écran de l’ordinateur d’une palette d’outils représentés sous la forme de petits éléments graphiques (de morceaux de Lego, si l’on peut dire), de différentes couleurs, selon leur fonction. Ces éléments en nombre fini sont principalement des petits bouts de matière et des liens pour les relier. L’utilisateur dispose aussi d’un établi de construction qui est la surface de l’écran de l’ordinateur.

En assemblant les petits éléments disponibles (des bouts de matière à relier) et en spécifiant les paramètres (masse des éléments matériels, rigidité et élasticité des liens), il s’agit d’abord de construire les corps sonores et les instruments les plus variés. C’est la phase lutherie. Mais il est ensuite possible d’indiquer le(s) moment(s) et les manières de les mettre en vibration par des actions gestuelles elles-aussi simulées et représentées graphiquement. La phase de jeu de l’instrument virtuel construit permet aussi d’entendre, via les haut-parleurs, et cette fois-ci bien réellement, les sons produits. Enfin, toutes ces étapes peuvent être gardées en mémoire.

Le logiciel GENESIS donne ainsi une maîtrise des processus générateurs de sons, de séquences sonores, voire de développements musicaux qui peuvent durer plusieurs minutes, selon la complexité (et la subtilité) du ou des instruments construits, et suivant les indications temporelles quant à leur entrée en vibration. Il est en effet possible de simuler un “orchestre”, comme l’a fait par exemple Claude Cadoz pour sa pièce *Pico...TERA*, dont la première audition publique a été donnée en 2001⁹.

Le logiciel GENESIS permet ainsi de représenter visuellement, grâce à un nombre donné d’éléments graphiques, la manière de produire des sons ; et de garder en mémoire ces modes de représentation. Les indications temporelles, ainsi que les types de corps sonore

⁹ Voir son article : C. Cadoz, 2002, “Le modèle physique, métaphore pour la création musicale”, 9ème édition des Journées d’Informatique Musicale, Marseille (avec, en illustration, des exemples de corps sonores construits avec GENESIS).
En ligne : http://perso.wanadoo.fr/gmem/evenements/jim2002/articles/LO8_Cadoz.pdf

ou d'ensemble d'instruments simulés donnent à l'utilisateur la possibilité de composer ces sons, d'opérer des passages du sonore au musical. C'est en effet en expérimentant avec plusieurs corps sonores que le compositeur peut apprécier les "valeurs" musicales des événements sonores générés.

Le processus de création intègre ainsi désormais une phase de lutherie qui n'est plus séparable du travail de structuration de la musique, où interviennent aussi les facteurs temps et "orchestration" (choix des instruments, de leur combinaison et de leur répartition dans l'espace virtuel de l'établi).

De ce point de vue, ce logiciel permet bien d'écrire tout à la fois les sons, la musique et le temps. Mais il s'agit d'un mode écriture différent de celui des partitions de notes sur des portées. Un parallèle historique est pertinent : ce type d'écriture se rapprocherait des "tablatures", par exemple celles des pièces musicales pour guitare.

Sur une partition-tablature, l'instrument de musique lui-même est en effet représenté de manière schématique, avec des indications sur les modes et moments de jeu. Le manche de la guitare est ainsi figuré et sont mentionnées graphiquement les places successives des doigts de la main gauche sur le manche, ainsi que le jeu de la main droite.

Le logiciel GENESIS permet, selon la même approche "causale" de la musique, une schématisation des instruments utilisés et une représentation également visuelle et simplifiée de la manière de les mettre en vibration, et à quels moments.

6. Conditions pour retrouver un système d'écriture perdu

Les logiciels de lutherie du type MUSIC 5 et GENESIS constituent à ce jour deux modèles de système d'écriture pour les musiques électroacoustiques qu'il ne semblait plus possible de noter. Mais il faut être maintenant plus précis, et surtout explicite, sur les caractéristiques de ces logiciels, qui en font justement des moyens d'écriture de la musique, et non pas simplement des outils d'annotation ou d'imagerie scientifique. Il est d'autant plus nécessaire d'être rigoureux sur ces questions que le terme écriture est souvent utilisé à tout propos.

En articulation avec le travail d'analyse critique des outils, j'ai été ainsi amenée à définir les différentes conditions à réunir pour que des procédés techniques forment un système d'écriture.

M'appuyant sur les recherches existantes et en cours dans les domaines de l'histoire des écritures (linguistiques, artistiques et autres), ainsi que sur des travaux sur le devenir de l'écriture avec les moyens informatiques et "multimédias"¹⁰, j'ai dégagé, pour l'instant¹¹,

¹⁰ Cf. la bibliographie en fin d'article.

¹¹ Il s'agit d'un travail en cours.

cinq conditions : la matérialité, la visibilité, la lisibilité, le caractère performatif et le caractère systémique. Il s'agit de conditions qui doivent être toutes réunies en même temps. Dans le cas contraire, les moyens techniques en question ne constituent pas un système d'écriture, mais des procédés d'un autre type dont il faut aussi tenter de caractériser les singularités¹².

- La matérialité est une des conditions les plus évidentes ou déjà bien identifiées d'un moyen d'écriture. Il s'agit de disposer d'un support matériel qui va pouvoir garder des traces pérennes de ce qui est écrit. Cela fut longtemps la feuille de papier, mais l'ordinateur est de la même manière un dispositif matériel¹³ qui garde la mémoire des informations écrites, ... à condition de disposer d'énergie électrique.

La matérialité est indissociable de la fonction de mémorisation d'un système d'écriture.

- La deuxième condition nécessaire est la visibilité, en ce sens où les informations mémorisées grâce au moyen matériel utilisé doivent être facilement visibles, sur la feuille de papier ou, désormais, sur l'écran de l'ordinateur. En tous les cas, il ne faut pas que ces informations soient invisibles.

De ce point de vue, et a contrario, cette condition m'a amenée à considérer que les moyens d'enregistrement sonore, "analogiques" (disque noir, bande magnétique) ou numériques, ne constituent pas à eux-seuls des moyens d'écriture, car ils conservent le son et la musique sous la forme d'inscriptions et de données complètement invisibles.

- La lisibilité est la troisième condition à réunir. Il faut non seulement pouvoir voir, mais aussi pouvoir lire relativement facilement ce qui est écrit, si nécessaire après une période d'apprentissage. Cela présuppose un minimum de codage des informations notées, avec des signes ou des éléments graphiques univoques ou non ambigus. Il s'agit en effet de pouvoir établir des liens relativement évidents entre ce qui est vu et ce à quoi cela fait référence.

Cette condition m'a amenée à considérer que les différentes images obtenues à la suite d'analyses scientifiques de sons peuvent difficilement constituer des formes ou des germes d'écriture. Cette hypothèse est bien sûr discutable, mais les images générées ne seraient pas des signes (et même pas du type indiciel ou iconique) se référant, plus ou moins médiatement, aux sons. Des sons différents peuvent avoir en effet plus ou moins la même image scientifique.

¹² Mieux comprendre en quoi consiste un système d'écriture permet aussi d'être plus précis sur les autres procédés techniques.

¹³ Cette matérialité des ordinateurs est souvent mal aperçue, on insiste souvent (et à tort) sur "l'immatérialité" de l'informatique, du fait des modes d'encodage des informations, en oubliant tous les autres aspects bien matériels qui sont les supports et les moyens de communication des informations.

- Le caractère que je qualifierais de “performatif” est une condition qui met en jeu un autre aspect important de tout système d’écriture : son potentiel de création ou, à tout le moins, d’action.

Les écritures sont des moyens performatifs en ce sens où les procédés techniques utilisés permettent non seulement de noter ce qui est perçu, mais aussi (et surtout) de générer des événements. En linguistique, la “performativité” concerne les signes qui sont aussi des actions, par exemple des paroles qui sont des actes du seul fait d’être énoncées dans un certain contexte.

Plus généralement, c’est écrire afin de réaliser, de générer, de créer, ceci avec une certaine maîtrise du processus créateur. Sous cet angle, un système d’écriture des sons et de la musique doit donc pouvoir être utilisé dans deux sens : comme moyen de noter ce qui est écouté et comme outil pour générer ce qui va être entendu.

Ce caractère performatif des moyens de notation écrite présuppose aussi un minimum d’autonomie (ou de décalage) des modes d’écriture par rapport aux phénomènes sonores perçus ou générés. L’écriture des sons et de la musique ne peut être en effet dans une relation de subordination trop directe aux phénomènes audibles ; elle a plutôt une fonction de coordination des actions et processus générateurs, comme c’est justement le cas avec les logiciels MUSIC et GENESIS, qui ciblent la musique en amont.

- La cinquième et dernière condition que j’ai pour l’instant identifiée est le caractère systémique : il faut pouvoir disposer d’un système de signes ou éléments visuels en nombre fini.

Cette condition est au cœur des difficultés le plus souvent rencontrées pour tenter d’écrire les musiques électroacoustiques. Un système de signes entretient en effet une relation plus ou moins directe avec ce qui est déjà systématisé ou systématisable dans les réalités et pratiques en jeu. Pour la musique et la composition musicale, cela renvoie à l’existence (ou pas) de systèmes et langages musicaux qui structureraient les pratiques. Un système d’écriture (se) fonde plus ou moins directement (sur) une théorie et un langage musical¹⁴. Or, dans le cas des musiques électroacoustiques, l’existence-même d’un langage musical partagé ne va justement plus du tout de soi.

Cette question suscite en général le débat parmi les compositeurs et musicologues ; le consensus n’existe pas. Mais je formulerais pour ma part l’hypothèse que la grande originalité des musiques électroacoustiques tient dans cette absence de systèmes de règles de composition. Il n’existe plus de structures de référence partagées, codifiables et transmissibles.

¹⁴ Les procédés d’écriture se réfèrent à un langage, mais réciproquement, un langage se transforme du fait du développement des outils d’écriture et de leurs logiques propres, comme dans le cas exemplaire de la musique occidentale.

Comme je l'ai déjà dit plusieurs fois, la composition électroacoustique consiste en effet en un passage des sons à la musique, qui relève davantage d'une transformation qualitative où les sons prennent des "valeurs" musicales selon les manières de les mettre en structure, que d'une simple combinaison d'éléments selon des règles, des interdits et des formalismes plus ou moins pré-codifiés ou analysables a posteriori. De ce point de vue, les musiques électroacoustiques reposent plutôt sur des savoir-faire et des savoir-écouter, ainsi que sur les relations réciproques et dynamiques entre faire et écouter. Ce sont là leurs dimensions irréductiblement manuelle et orale, corporelle et "aurale".

Des langages seraient néanmoins toujours en jeu, sinon il n'aurait pas été possible de concevoir des logiciels comme MUSIC et GENESIS. Mais ce serait des langages qui concerneraient la "nature", le monde matériel et physique, ainsi que l'homme en interaction (notamment grâce aux techniques qu'il invente) avec le monde physique. Dans le cas des musiques électroacoustiques, les règles, schèmes, contraintes, propriétés physiques et humaines seraient désormais autant des fondements que des moyens pour la création musicale.

N'est-ce pas ce que Pierre Schaeffer tentait de saisir par cette formule qui terminait le *Traité des Objets Musicaux*¹⁵ : la musique, c'est-à-dire "l'homme, à l'homme décrit, dans le langage des choses" ?

*

REPERES BIBLIOGRAPHIQUES

Austin J. L., 1991, *Quand dire, c'est faire*, Paris : Seuil, Collection Points Essais.

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

Bennett Gerald, (sans date), "Music since 1945 and oral culture".
(papier téléchargé en septembre 2002 à partir du site www.computermusic.ch)

Cadoz Claude, 1991, "Timbre et causalité", dans Barrière Jean-Baptiste (éd.), *Le timbre, métaphore pour la composition*, Paris : IRCAM-Christian Bourgeois Editeur, p. 17-46.

Cadoz Claude, 2002, "Le modèle physique, métaphore pour la création musicale", dans *Actes de la 9ème édition des Journées d'Informatique Musicale*, Marseille : GMEM, p. 59-69.

¹⁵ Dans la première édition de 1966 (un chapitre a été rajouté dans l'édition de 1977, celle que l'on peut acheter encore aujourd'hui).

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

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

Delalande François, 2001, "Le GRM et l'histoire de l'éveil musical en France", dans Dallet Sylvie et Veitl Anne (éd.), *Du sonore au musical. Cinquante années de recherches concrètes (1948-1998)*, Paris : L'Harmattan, p. 89-100.

Duchez Marie-Elisabeth, 1983, "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, p. 22-65.

Duchez Marie-Elisabeth, 1991, "L'évolution scientifique de la notion de matériau musical", dans Barrière Jean-Baptiste (éd.), *Le timbre, métaphore pour la composition*, Paris : IRCAM-Christian Bourgeois Editeur, p. 47-81.

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

Goodman Nelson, 1990, *Langages de l'art*, Nîmes : Editions Jacqueline Chambon.

Leroi-Gourhan André, 1964, *Le geste et la parole*, tomes I et II, Paris : Albin Michel.

Marfaing Daniel, 2003, "La création pour l'écoute, l'écoute pour la création", dans *Des outils pour la musique, Dossiers de l'ingénierie éducative*, n° 43, Paris : Scéren (CNDP), p. 27-29.

Molino Jean, 1975, "Fait musical et sémiologie de la musique", *Musique en jeu*, n° 17, Paris : Seuil, p. 37-62.

Molino Jean, 1998, "Expérience et connaissance de la musique à l'âge des neurosciences", dans Etienne Darbellay (éd.), *Le temps et la forme. Pour une épistémologie de la connaissance musicale*, Genève : Droz, p. 253-272.

Nattiez Jean-Jacques (éd.), 2003, *Musiques. Une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, Tome I, Musiques du XX^e siècle, Paris : Actes Sud / Cité de la musique.

Regnault Cécile, 2001, "Correspondances entre graphisme et son : les représentations visuelles de l'objet sonore", dans Dallet Sylvie et Veitl Anne (éd.), *Du sonore au musical. Cinquante années de recherches concrètes (1948-1998)*, Paris : L'Harmattan, p. 307-337.

Risset Jean-Claude, 1995 (1969), "An introductory catalogue of computer synthesized sounds", dans *The historical CD of digital sound synthesis*, Computer Music Currents 13, WER 2033-2 (actuellement, distribution commerciale par Schott en Allemagne)

Savouret Alain (en dialogue avec Anne Veitl), 2001, "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, p. 33-35.

Schaeffer Pierre, 1952, *A la recherche d'une musique concrète*, Paris : Seuil.

Colloque *Ecrire, décrire le son*, 23-24 mai 2003, Domaine de Kerguéhennec, Bretagne.

- Schaeffer Pierre, 1966, *Traité des Objets Musicaux. Essai Interdisciplines*, Paris : Seuil.
- Souchier Emmanuël et Jeanneret Yves, 2002, “Ecriture numérique ou médias informatisés ?”, dans *Du signe à l’écriture*, Dossier Hors-série de *Pour la Science*, p. 100-105.
- Souchier Emmanuël, 2003 (3 février), “Lorsque les écrits de réseaux cristallisent la mémoire des outils, des médias et des pratiques”, in *Interdisciplines*, revue électronique. (http://www.interdisciplines.org/defispublicationweb/papers/18/1#_1).
- Souchier Emmanuël, Jeanneret Yves et Le Marec Joëlle (éd.), 2003, *Lire, écrire, récrire. Objets, signes et pratiques des médias informatisés*, Paris : BPI-Centre Georges Pompidou, Collection Etudes et recherche.
- Stiegler Bernard, 1986, “Programmes de l’improbable, court-circuits de l’inouï”, *InHarmoniques*, n° 1, Paris : Ircam-CGP et Christian Bourgois Editeur, p. 126-159.
- Veitl Anne, 2001, *Quelles ressources technologiques pour renouveler les pédagogies de la musique ? Présentation critique d’outils*, rapport d’enquête pour le ministère de la Culture-DMDTS. (http://www.dmdts.culture.gouv.fr/culture/dmdts/rapportsPDF/Rapport_Veitl.pdf)
- Veitl Anne, 2004, *Ecriture et “auralité” des musiques électroacoustiques : Schaeffer, Risset, Cadoz*, Conférence (texte/son/image) à l’Ircam-Centre Georges Pompidou, lundi 2 février (à publier).
- Veitl Anne, 2004, “Le compositeur à l’ordinateur (1955-1985). Des moyens de rationalisation aux outils de réélisation”, Barbanti, Lynch, Pardo et Solomos (éd.), *Musiques, arts et technologies : pour une approche critique*, Paris : L’Harmattan, Collection Musique/Philosophie, p. 185-201.
- Woolman Matt, 2000, *Sonic Graphics. Quand le son devient image*, Paris : Editions Thames and Hudson.