



**HAL**  
open science

# Ouvrir l'espace sonore : Max Mathews, John Chowning, Holophon

Jean-Claude Risset

► **To cite this version:**

Jean-Claude Risset. Ouvrir l'espace sonore : Max Mathews, John Chowning, Holophon. Journées d'Informatique Musicale JIM 2011, Université de Saint-Etienne, May 2011, St Etienne, France. pp.105-111. hal-01136265

**HAL Id: hal-01136265**

**<https://hal.science/hal-01136265>**

Submitted on 10 Jan 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# OUVRIR L'ESPACE SONORE : MAX MATHEWS, JOHN CHOWNING, HOLOPHON

Jean-Claude Risset  
Laboratoire de Mécanique  
et d'Acoustique, CNRS  
jcrisset@lma.cnrs-mrs.fr

## RÉSUMÉ

Max Mathews, le père de la musique par ordinateur, nous a quitté brutalement le 21 avril dernier. Dès 1957, il a mis en œuvre l'enregistrement et la synthèse des sons par ordinateur, ouvrant l'ère du son numérique, qui a aidé bien des musiciens à réaliser leurs désirs musicaux. C'est à partir des programmes de synthèse conçus par Max Mathews<sup>1</sup> (1) que John Chowning a pu réaliser en 1972 *Turenas*, pierre angulaire de la musique cinématique, dont les sons virevoltent dans un espace illusoire et naviguent sans entrave dans un continuum de timbre (2).

Ces JIM 2011 sont l'occasion d'une recreation. Laurent Pottier a revisité *Turenas*, et il en a réalisé une nouvelle version, qui sera présentée en présence de John Chowning. Aussi je parlerai de l'espace – et j'évoquerai la façon dont j'ai tiré parti dans mes œuvres récentes du logiciel *Holophon*, rédigé par Laurent Pottier au Groupe de Musique Expérimentale de Marseille, qui apporte à la spatialisation des possibilités d'écriture.

## ESPACE

La musique, art du temps, se se pratique dans divers espaces, au sein desquels elle se propage par l'entremise des ondes acoustiques. La musique classique occidentale s'est développée dans les églises, les salons puis les salles de concert. Aujourd'hui elle est le plus souvent émise sous forme « acousmatique » par des haut-parleurs.

On pense le plus souvent l'espace comme *cadre*<sup>2</sup> de la représentation: le jeu se fait *dans* un espace. Il est plus rare qu'on joue *de* l'espace. Au XVI<sup>e</sup> siècle, à Venise, Gabrieli fait entendre à la

---

<sup>1</sup> Chowning a découvert la synthèse par ordinateur par l'article publié en 1963 par Mathews (1), article qui fut également décisif pour moi-même.

<sup>2</sup> Aujourd'hui l'art joue parfois avec le cadre. A la limite, l'œuvre silencieuse de John Cage, *4 mn 33s*, propose le cadre-même de la musique comme oeuvre à écouter.

basilique Saint-Marc ses musiques en stéréophonie, et Véronèse peint à fresque un Saint Sébastien qui reçoit les flèches que lancent les archers depuis le mur en vis-à-vis de l'église.

## Notation musicale

La notation musicale tire parti de l'espace : elle représente la hauteur sonore en fonction du temps.

La notation musicale est une application du temps sur l'espace. La notation a eu d'abord un rôle mnémotecnique: mais l'écriture a grandement influencé la musique. L'espace est réversible, alors que la flèche du temps est imposée par les phénomènes irréversibles. Les symétries sont chez elles dans l'espace, et la notation a suggéré leur intervention dans les structures musicales, par exemple dans les transformations du contrepoint : le renversement des intervalles mélodiques réalise une symétrie par rapport à un axe horizontal, et la symétrie par rapport à un axe vertical – la rétrogradation de la mélodie - fait remonter le temps. Il ne semble pas exister de tels procédés dans les musiques de tradition orale. Bach (dans *l'Offrande musicale*) et d'autres musiciens ont écrit des musiques "palindromiques", qui sont les mêmes lues du début à la fin ou de la fin au début. Les machines à musique codent la partition sur des cylindres à picots, utilisant déjà un système de coordonnées cartésiennes, bien avant Oresme et Descartes : selon l'historien des sciences Geoffroy Hindley, c'est la notation musicale qui a inspiré l'usage des coordonnées cartésiennes dans la science occidentale.

## MUSIQUE, ENREGISTREMENT ET TECHNOLOGIES ELECTRIQUES

Vers 1875, deux inventions techniques ont changé notre relation au son.

L'enregistrement applique le son sur l'espace, et il fait de signaux éphémères des objets qu'on peut étudier, modifier à loisir, et reproduire en l'absence de leur cause musicale initiale. Le micro et le haut-parleur du téléphone transforment les vibrations acoustiques en vibrations électriques et

vice-versa, ce qui permet de tirer parti des technologies électriques dans le domaine du son.

### Enregistrement

L'enregistrement réalise une sorte de notation intégrale : c'est le temps du son qui se voit appliqué sur une dimension spatiale. Cela permet de fixer le son, auparavant éphémère et non reproductible, mais aussi d'inverser le sens du temps en parcourant l'enregistrement à l'envers.

Même si les équations de la mécanique sont réversibles, toutes les évolutions ne sont pas également probables : le deuxième principe de la thermodynamique prévoit pour tout système isolé une augmentation irréversible de l'entropie - du désordre. Un verre cassé ne se reconstitue pas ... sauf dans un film passé à l'envers: mais c'est alors de l'espace qui est parcouru à rebours, pas du temps. L'enregistrement sur bande permet le même artifice : comme la notation, il applique le temps sur une dimension d'espace, affranchissant le son musical de la flèche du temps et permettant de jouer sur le temps dans le son.

L'inversion du temps ne change guère l'effet auditif de certains sons, comme ceux de la flûte, dont l'enveloppe temporelle est presque symétrique: en revanche on ne reconnaît plus d'autres timbres. Luc Etienne a réalisé des palindromes phonétiques : par exemple l'enregistrement de la phrase « Une slave valse nue » reste semblable à lui-même (excepté l'intonation) en écoutant la bande à l'envers<sup>3</sup>.

### Technologies électriques et musiques expérimentales

Les technologies électriques ont été exploitées pour reproduire les sons plutôt que pour les produire. La musique provient aujourd'hui le plus souvent de haut-parleurs ou d'écouteurs - ceux des radios, disques ou baladeurs. Cependant, dès l'âge électrotechnique, Cahill dépose en 1897 le brevet d'un *dynamophone*, véritable dynamo à sons, appelé aussi *telharmonium* car il pouvait véhiculer ses musiques électriques sur le réseau téléphonique. Varèse n'a pas entendu les sons de la machine de Cahill - il les aurait sans doute détestés : mais cette nouvelle a mis en marche son imagination, et il a défendu l'idée d'utiliser les technologies électriques pour produire - et pas seulement reproduire - les sons, proposant l'idée de l'art-science.

L'âge électronique s'ouvre avec la triode de Lee de Forest - d'abord nommée *audion* : de Forest visait la production de vibrations électriques pour faire de la musique, et il a construit le premier instrument électronique, perfectionné ensuite par Theremin et Martenot. C'est en détournant les dispositifs des studios de la radio française - et en tirant parti du savoir-faire des bruiteurs - que Schaeffer se mettra à partir de 1948 à la recherche d'une musique « concrète » (3), construite à partir de sons acoustiques enregistrés puis transformés par des appareillages électroniques ou électromécaniques. A Cologne, c'est la musique « électronique » qui voit le jour dans les années 1950 avec Eimert et Stockhausen (4) : elle se cantonne aux vibrations d'origine électrique, qu'elle vise d'abord à contrôler très précisément. Les deux méthodes fusionneront assez vite pour former la musique « électroacoustique », qui a amené à une formidable extension des matériaux de la musique. Varèse l'a illustré avec *Déserts* (1954) et Stockhausen avec *Gesang der Junglinge* (1956).

### MAX MATHEWS ET L'AGE NUMERIQUE

En 1957, Max Mathews ouvre l'âge numérique : il met en œuvre l'enregistrement numérique du son - avant l'invention du laser - et la synthèse des sons par ordinateur.

Mieux que les techniques concrète ou électronique, la synthèse par ordinateur donne l'accès au "son organisé" dont Varèse rêvait depuis le début du siècle. Le codage numérique du son, associé à l'usage de l'ordinateur, offre de multiples possibilités de représentations, qui peuvent suggérer des transformations nouvelles. En particulier le traitement du son par ordinateur permet d'exercer un contrôle compositionnel jusqu'au niveau de la microstructure sonore et donc de composer véritablement le son dans son devenir temporel et spatial. Le programme de synthèse Music III (1959) a le premier illustré la conception modulaire des compilateurs de Mathews, inspirant les synthétiseurs Moog, Buchla, Ketoff, Arp et les logiciels Music IV, Music V (5), Music10, Music 360, Music 11, Cmusic, Csound.

Dans le processus de synthèse, on est à la source des choses: on peut composer les timbres comme des accords; on peut transformer intimement les sons de synthèse en modifiant l'évolution dans le temps de leurs composantes. On peut ainsi orienter à son gré l'écoute vers une appréhension fusionnée, focalisée, globale, synthétique, ou au contraire dissociée, distribuée, locale, analytique. On peut fondre des objets sonores en textures fluides, strier ou lisser le temps, plonger dans les profondeurs du timbre,

<sup>3</sup> Les palindromes phonétiques ne peuvent contenir des consonnes plosives comme *p* ou *t*.

dissocié par l'asynchronie temporelle comme la lumière blanche est dispersée par le prisme, et le scinder en constituants élémentaires qui s'allient en mélodie et harmonie.

La précision et la reproductibilité sans précédent de l'ordinateur se prêtaient bien à l'idée de John Chowning, qui souhaitait vivifier la musique électronique en accentuant ses possibilités cinétiques. Et l'ordinateur se prête à modéliser la grammaire de la musique aussi bien que son vocabulaire : James Tenney, le premier compositeur qui a travaillé avec Max Mathews aux Bell Labs entre 1962 et 1964, a ainsi utilisé un choix statistique pour les paramètres sonores de ses compositions *Dialogue* et *Phases* ; et John Chowning a réalisé en 1977 *Stria*, une œuvre novatrice dans laquelle des rapports numériques liés au nombre d'or régissent à la fois la microstructure et la macrostructure, la structure harmonique des sons aussi bien que l'échelle de transposition, ce qui permet d'explorer un monde sonore non tempéré sans renoncer à l'euphonie ou à la consonance.

Les JIM 2011 rendront hommage à Max Mathews, « the father of computer music ». L'impact musical des travaux de Mathews est si considérable que l'INA-GRM lui a consacré un ouvrage dans une collection de portraits de compositeurs (6). Parmi les exemples diffusés à cette occasion, un extrait de *Daisy, a bicycle built for two*, première chanson chantée et accompagnée par ordinateur, une synthèse réalisée en 1963 par John Kelly, Carol Lochbaum et Max Mathews, et dont Stanley Kubrick s'est souvenu dans *2001, Odyssée de l'espace* ; le violon électronique et protéiforme de Mathews, qui peut sonner comme un violon mais aussi comme un cuivre ou un synthé ; et un exemple de son travail sur l'interprétation en direct de la musique numérique, avec un extrait du *Quatuor* de Ravel dans deux exécutions différentes.

## LA MUSIQUE CONQUIERT L'ESPACE

Bien des musiques « expérimentales » jouent aujourd'hui de l'espace. La genèse électrique délivre le son des contraintes mécaniques, et en particulier de l'inertie liée à la masse des objets vibrants : elle permet ainsi de "spatialiser" le son, de jouer sur sa localisation sonore et sur son déplacement, sa cinétique.

Edgard Varèse a longtemps souhaité pouvoir envoyer sa musique dans l'espace : il pourra le faire pour son *Poème électronique* présenté dans le pavillon construit par Le Corbusier pour l'exposition universelle de Bruxelles 1958, grâce à un réseau de 27 groupes de haut-parleurs. La

multiplicité de haut-parleurs est sans doute précieuse pour déplacer la source sonore – mais elle est coûteuse et pas forcément convaincante. On a pu s'en rendre compte à l'exposition universelle d'Osaka en 1970, où Stockhausen a pu exploiter le guidage du son au sein d'un réseau de centaines de haut-parleurs répartis sur une demi-sphère au dessus des auditeurs : le son paraissait se déplacer « là-haut », mais pas de façon très frappante, et le fait de modifier l'amplification ne suffisait pas à donner le sentiment qu'il s'éloignait ou se rapprochait.

## L'espace illusoire de Chowning

Deux ans plus tard, John Chowning a fait sensation avec son œuvre *Turenas* et ses impressionnants mouvements sonores illusoires. *Turenas* est une pierre angulaire de la musique cinétique. L'auditeur y perçoit des trajectoires sonores avec une précision quasi-graphique : les sons paraissent virevolter dans un immense espace qui déborde largement les quatre haut-parleurs.

Cet espace est illusoire : il est instauré par l'écoute. Chowning a tiré parti de l'ordinateur pour suggérer à l'auditeur des localisations et des mouvements illusoires mais prégnants. Il est important pour la survie de détecter d'où viennent les sons : nos mécanismes auditifs tirent parti d'indices subtils, comme ceux qui permettent de distinguer si le son vient d'une source sonore puissante mais éloignée ou d'une source faible mais proche - alors que l'oreille reçoit dans les deux cas des intensités comparables. Chowning a joué sur l'amplitude dans chaque haut-parleur pour suggérer la direction de la source virtuelle ; sur la proportion son direct/son réverbéré pour suggérer la distance de la source ; enfin sur l'effet Doppler pour suggérer le mouvement de la source<sup>4</sup> (7). Le contrôle des paramètres sonores de synthèse aboutit ici à une écriture déliée et raffinée de la cinétique spatiale. Pour la mettre en œuvre, Chowning joue le rôle d'un illusionniste (8) : il façonne l'onde sonore calculée de façon que l'auditeur y détecte des indices de localisation ou de vitesse, indices qu'il interprète en inférant un espace illusoire au sein duquel voleraient les sources sonores présumées.

L'espace illusoire est une construction mentale, une projection conceptuelle au sein de laquelle l'esprit situe les sources virtuelles en termes desquelles il interprète l'expérience auditive. Cette

---

<sup>4</sup> L'effet Doppler, suggérant que notre univers est en expansion, est essentiel dans notre vision du monde. Or sa première vérification a été faite vers 1840 par Christian Doppler avec les musiciens du Conservatoire de Vienne!

construction est fragile, elle peut être remise en question par des indices contradictoires issus de l'espace réel, en particulier ceux qui proviennent d'autres modalités sensorielles : la vision est plus prégnante que l'audition. Et les réflexions par des parois tendent à rétrécir ou à perturber l'espace illusoire. D'où l'importance du cadre de présentation pour rendre justice aux élaborations électroacoustiques qui jouent de l'espace..

### **Une analogie avec l'espace dans certaines théories physiques contemporaines**

Certains développements de la physique mathématique la plus actuelle, consécutifs aux travaux sur les groupes de transformation liés aux changements de référentiels, ont amené des réflexions très profondes concernant la conception de l'espace physique. Le mathématicien Alain Connes a entrepris la fusion de la géométrie différentielle avec la théorie des algèbres d'opérateurs. Le physicien théoricien Daniel Kaster a tôt perçu l'enjeu physique de ces puissantes recherches mathématiques : substituer à l'espace une algèbre d'opérateurs.

On en vient alors à remplacer l'espace - scène vide, indépendante des personnages qui le traversent - par une algèbre non-commutative d'opérateurs traduisant les interactions : l'espace devient une résultante de ces interactions. Les degrés de liberté internes (SU2, SU3) font qu'on ne peut plus dissocier espace et particule. Entrevu par Gauss, Riemann, Einstein et Von Neumann, ce remplacement est radical. L'espace comme cadre *a priori* de Kant s'évanouit, et même l'espace-temps d'Einstein, que la présence de masses ne feraient que courber. Ici la primauté est donnée aux interactions, aux observables - à la physiologie sur l'anatomie, à la fonction sur la structure. Alain Connes a donné son aval à l'analogie qui suit : l'espace n'est pas une scène vide, il est créé par l'acte - de la même façon que l'espace illusoire de Chowning n'est ni objectif ni préalable, il est une résultante des interactions de l'onde sonore façonnée avec la perception auditive, il est creusé par la musique.

### **Retour à la spatialisation**

La maîtrise de l'espace atteinte par Chowning dans *Turenas* a inspiré de nombreux musiciens et chercheurs. Ma pièce *Songes* évoque un passage au rêve : dans la dernière partie, des sons planent à grande vitesse dans l'aigu en suivant des contours de fréquence complexes, dont certains détails donnent par moment lieu à des « effets Doppler par inadvertance », suggérant des trajectoires dans un monde imaginaire, des clés pour un espace rêvé, onirique (9). Luigi Nono, Marco Stroppa,

Michael Jarrell se sont préoccupés de diverses façons de mise en espace.

Dans son ouvrage « Penser la musique aujourd'hui », Pierre Boulez considère l'espace comme un aspect extérieur et décoratif de la musique. On peut contester ce point de vue. Les travaux de Bregman, Van Noorden, Wessel montrent que le phénomène de ségrégation mélodique a aussi des conséquences sur le rythme perçu. Dans la première section de mon œuvre *Nature contre nature*, qui illustre certains aspects paradoxaux de la perception du rythme, les notes se succèdent à une cadence parfaitement régulière, mais la régularité rythmique est rompue par des fissions mélodiques. Ces fissions peuvent être déterminées par des variations d'intensité (accents rythmiques) ou de timbre, mais aussi par des alternances de localisation spatiale. L'insertion dans une séquence de sons de même intensité provenant de haut-parleurs différents provoque des modifications rythmiques. L'espace n'est donc pas uniquement extérieur ou décoratif : il peut jouer un rôle structurel, il peut être « morphophonique » - porteur de forme.

Pierre Boulez se défait de l'électroacoustique: il a voulu pour l'espace de projection de l'IRCAM une acoustique modifiable par le biais de prismes rotatifs, les périactes, faisant varier l'absorption et la diffusion par les parois. Mais, si l'on peut y passer d'une acoustique sèche à une acoustique très réverbérante, on ne peut y donner l'illusion d'une très grande salle : cela supposerait que les premiers échos n'arrivent qu'assez longtemps après le son direct, ce qui n'est réalisable que par des procédés électroacoustiques. Dans mon œuvre *Inharmonique*, j'ai enregistré la voix de la soprano Irène Jarsky dans un studio de petite dimension : l'ajout d'échos à l'aide du programme MusicV donne l'impression que la voix se déploie dans un espace plus vaste. A la suite de Damaske, Schroeder, Atal, Kuttruff et Gottlob, on peut modéliser des salles de concert et obtenir avant la construction une simulation « sur plan » de leur effet acoustique.

Divers travaux ont fourni des outils visant à renforcer la dimension spatiale de la musique, et nombre d'institutions se sont penchées sur cette problématique: bien sûr au CCRMA de Stanford, fondé par John Chowning, mais aussi à l'UC San Diego avec Roger Reynolds, au GMEB avec le GMEBaphone, au GRM avec l'acousmonium puis les GRM-Tools, à l'IRCAM avec le « spatialisateur » de Jean-Marc Jot et Olivier Warusfel, au GRAME avec Dominique Fober, Pierre-Alain Jaffrennou et Yann Orlarey (9), aux Laboratoires Sony avec Olivier Delerue et François Pachet, en Belgique avec Annette Vande

Gorne et « Musique et recherches », à l'ICST de Zurich, au ZKM de Karlsruhe ... Au GME de Marseille, Christian Calon a lancé un projet de spatialisation, et Laurent Pottier a développé le logiciel *Holophon*, qui permet avec *Holo-Edit* de spécifier divers archétypes de mouvements spatiaux : rotation, éloignement, élargissement ou rétrécissement, mouvement brownien. Les JIM ont maintes fois traité de l'espace sonore, par exemple en 1998 et 2002 (10) et nombre de colloques ont été consacrés à la question.

### **Recours à *Holophon* dans *Pentacle* et *Kaléidophone***

La disponibilité croissante de systèmes de diffusion comportant au moins 8 pistes stimule l'usage musical de l'espace. Depuis mes *Resonant Sound Spaces* de 2002, j'ai tiré parti du logiciel *Holophon* dans un souci de scénographie et de dramaturgie spatiales liées au contenu musical.

*Pentacle* (2006), pour clavecin et ordinateur, est une pièce mixte dédiée à Elizabeth Chojnacka : le clavecin moderne y dialogue avec huit pistes numériques dont les timbres sont généralement apparentés à ceux du clavecin. Il s'agit moins d'un traitement sonore que d'un développement compositionnel, qui produit échos, arpèges, transpositions et proliférations. Une spatialisation sur huit canaux, mise en œuvre à Albi grâce à Charles Bascou et Benjamin Maumus, fait sortir de la scène les sons du clavecin ou de l'ordinateur, suivant une scénographie et une dramaturgie spatiales liées au contenu musical.

*Pentacle* s'articule en cinq sections. Les accords arpégés de la première section, *Portique*, diffusés de la scène, jouent le rôle d'un propylée. La seconde section fait entendre des *Accords* plaqués de plus en plus denses, qui déclenchent l'investissement progressif par l'ordinateur de l'ensemble de la salle (en préservant la symétrie gauche-droite), comme si l'auditeur avançait à travers le portique sonore. La troisième section présente des *Volutes* variées autour de notes polaires : lorsque ces volutes échappent à l'accord tempéré, les sons se dispersent, provenant de divers points. Dans la quatrième section, *Résonances*, la plus longue, le son s'aère : le clavecin, diffusé dans la salle, répond en pointillé à des résonances et des frottements furtifs venant de la scène. La cinquième section, *Vers le chaos*, est une descente implacable, bientôt accompagnée d'une giration plus ou moins rapide, rebroussant chemin ça et là – deux sons tournant à des vitesses différentes s'écartent pour arriver à des positions diamétralement opposées. Les gammes descendantes se perdent dans des ténèbres chaotiques : le mouvement des sons devient

aléatoire, puis il diffuse partout, pour se recentrer à la fin sur la scène autour d'une résonance du clavecin.

*Kaléidophone* est pour moi une installation sonore plutôt qu'une œuvre au sens habituel. En 2010, Joachim Heintz et *Musik für heute* ont demandé à plusieurs compositeurs de réaliser des œuvres pour le projet *Sixteen Daily Experiences*. Le propos était de présenter ces œuvres sur un réseau de diffusion occupant la Platz der Weltausstellung (place de l'exposition universelle) de Hannover : 16 haut-parleurs disposés régulièrement suivant quatre fois quatre rangées, chaque haut-parleur étant à 11 m du haut-parleur le plus proche. Un tel dispositif est exceptionnel : il m'a paru analogue au kaléidoscope, qui répartit une scène visuelle entre différentes régions spatiales, d'où le nom *Kaléidophone*.

L'auditeur qui se déplace entre les sources sonores durant la diffusion fait l'expérience de perspectives mouvantes. J'ai souhaité expérimenter cette dispersion spatiale si particulière avec différents paysages sonores : une occasion pour moi de vérifier mes prévisions des effets perçus. Certaines scènes paraissent se mouvoir plus ou moins vite - percussions, sons d'eau qui coule, de vent qui circule, de feu qui se propage : avec l'aide de Charles Bascou au GMEM, elles ont été spatialisées par *Holophon*, qui permet de concentrer la source virtuelle ou au contraire de l'étaler sur plusieurs haut-parleurs voisins. La plupart des sources sonores ont été distribuées entre les haut-parleurs : rumeurs de foule, illusions de hauteur et de rythme, sons de claviers, cloches de synthèse, jets d'air turbulents ...

### **ESPACE ET REPRESENTATION**

La notion d'espace déborde l'espace physique à trois dimensions dans lequel nous sommes plongés : elle est commode pour représenter suivant plusieurs dimensions la structure de nos jugements. Les espaces dits métriques sont munis d'une « distance » symétrique repérant la proximité entre points. Les méthodes d'analyse factorielle permettent de situer dans un espace multidimensionnel des attributs sensoriels comme le timbre, ce qui suggère des chemins nouveaux dans cet espace. Dans un épisode de *Sabelith* de Chowning, un son percussif sans hauteur déterminée tourne en se transformant graduellement en un son cuivré à la hauteur très claire : une métamorphose de timbre sans "fondu-enchaîné", à la différence de celles qu'on peut réaliser avec les instruments de l'orchestre.

C'est là un exemple de la ductilité que permet la synthèse sonore, qui permet des trajectoires dans un espace continu de timbre. Cette notion n'est pas seulement une métaphore. Les espaces de timbre de Wessel, issus de l'analyse multidimensionnelle, dégagent les dimensions de différenciation entre les types de sons étudiés. Ils permettent des prévisions sur l'effet à l'écoute : ils peuvent servir de cartes de navigation entre les îlots correspondant à ces sons dans l'océan des timbres, guidant le parcours de trajectoires continues (comme dans *Sabelith* ou *Turenas*) ou discontinues. J'ai tenté dans *Songes* et *Mirages* de mettre en application les travaux de Wessel et Ehresman sur les analogies perceptives des intervalles de timbre, pour suggérer de véritables transpositions de mélodies de timbre. Malheureusement, ces transpositions ne s'imposent pas à la conscience comme les transpositions mélodiques, elles manquent de force structurante. Néanmoins les représentations d'espace de timbre suggèrent utilement des opérations compositionnelles.

L'espace des hauteurs sonores ne se réduit pas à une simple droite allant du grave à l'aigu. La force de la relation d'octave, implicite dans la nomenclature solfégique (**do ré mi fa sol la si do**), a suggéré il y a plus d'un siècle à Drobisch de représenter la hauteur par une hélice. Cette représentation rend bien mieux compte de nombreux phénomènes musicaux, en particulier des paradoxes de hauteur réalisés par Shepard et moi-même : une hélice qui s'effondre en cercle - une descente indéfinie - ou en hélice inversée - un son qui descend la gamme pour finir plus aigu. L'association d'une descente indéfinie à un ralentissement indéfini est déprimante : l'inverse est plus stimulant.

La notion d'espace n'est pas innocente, elle impose des contraintes. Représenter les différences subjectives entre deux stimuli par des distances dans un espace suppose que ces différences ne dépendent pas de l'ordre de présentation des objets, et ce n'est pas toujours le cas. Cependant les représentations spatiales - partition, visualisation du son, diagrammes multidimensionnels - constituent des supports intellectuels utiles : elles fournissent des figurations opératoires de la physique des sons, mais aussi des relations qu'on perçoit entre eux, elles sont essentielles au travail de l'écriture, aidant à se dégager de l'emprise tyrannique du temps et à jeter sur le projet musical un regard local ou global. Les langages musicaux peuvent contribuer à étendre le rôle pluriel de la notation structurelle : mémoire, représentation et suggestion de transformations. Ce n'est sans doute qu'en jonglant spatialement avec le temps qu'on

peut espérer donner l'illusion proprement musicale de maîtriser le temps qui nous emporte.

Si composer, c'est faire jouer les sons dans le temps, ce peut être aussi composer le son lui-même, déployer et épanouir l'intérieur du son, faire jouer le temps dans le son. Pour ce faire, il faut s'affranchir de la contrainte du temps. Iannis Xenakis distinguait les structures musicales hors-temps, modes, gammes, degrés de hauteur choisis à l'avance, des structures en-temps qui s'inscrivent dans le flux temporel.

La musique est aussi un art de la mémoire. Une composition est un tout, une vision synoptique, même si elle doit se déployer dans le temps. Le compositeur travaille hors-temps à prévoir successions, rappels, surprises, à ordonner tension ou détente, attentes comblées ou déçues, résolutions éludées, suspendues ou accomplies, à susciter chez l'auditeur l'anticipation - à gérer le temps. Le travail d'écriture s'appuie sur la notation, qui représente le temps irréversible sur l'espace réversible, et qui permet donc de s'affranchir de la tyrannie du "temps réel."<sup>5</sup> L'usage du temps réel, précieux pour l'interprétation, peut entraîner des sujétions pour le compositeur, qui doit proposer un voyage susceptible de captiver l'auditeur : mais le temps du voyage n'est pas celui de sa préparation.

Composer, c'est s'affranchir de la flèche du temps, de la réaction irréflectée, de l'habitude, des réflexes - c'est assembler les éléments musicaux dans l'espace.

## REFERENCES

- (1). Mathews, M.V. The digital computer as a musical instrument. *Science* 142, 553-557 (1963).
- (2). Pottier, L. « *Turenas*, analyse ». In Collectif, *John Chowning*, Portraits polychromes n° 7, Institut national de l'audiovisuel et Editions Michel de Maule, Paris, 2005.
- (3). Schaeffer, P.. *A la recherche d'une musique concrète*. Editions du Seuil, Paris 1952.
- (4). Die Reihe 1. *Electronic Music*. Universal Edition, Wien, 1955.
- (3) Mathews, M.V. *The Technology of Computer Music*. M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1969.
- (4) Collectif. *Max Mathews*. Portraits polychromes n° 12, Institut national de l'audiovisuel et CCRMA, Stanford (livre présenté en deux versions, l'une en français et l'autre en anglais), 2007 et 2008.

---

<sup>5</sup> Dans un système audionumérique, on parle d'opération "temps réel" lorsque les calculs nécessaires au traitement du son sont assez rapides pour que les effets des commandes de l'utilisateur soient perçus comme immédiats: ainsi l'utilisateur peut-il façonner par des gestes certains aspects du son, en entendant le résultat au fur et à mesure.

- (5) Chowning, J. The simulation of moving sound sources. *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 19, n. 1, 1971, p. 2-6.
- (6) Torra-Makenlott, C. Illusionisme musical. *Dissonance* 64 (mai 2000), 4-11.
- (7) Risset, J.C. *Du songe au son (entretiens avec Matthieu Guillot)*, L'Harmattan, 2008.
- (8) Colloque "Le son & l'espace". Rencontres musicales pluridisciplinaires Informatique et Musique. GRAME - Musiques en scène. Lyon, 1995.
- (9) Journées d'Informatique Musicale, JIM 98, Agelonde, D. Arfib ed.
- (10) Journées d'Informatique Musicale, JIM 2002, Marseille, L. Pottier, ed.
- (11) Risset, J.C. ; Arfib, D. ; de Sousa Dias, A. ; Lorrain, D. ; Pottier, L. De *Inharmonique* à *Resonant Sound Spaces* : temps réel et mise en espace. Actes des 9èmes Journées d'Informatique Musicale, Marseille, 2002, 83-88.