

## CONCLUSION GENERALE

Dans ce mémoire, nous avons essayé de montrer par quelles démarches les compositeurs peuvent utiliser l'ordinateur pour produire des sons de synthèse. Nous nous sommes surtout intéressés au problème du contrôle des paramètres de la synthèse car lorsqu'on souhaite utiliser la synthèse, il faut conceptualiser les instruments et le jeu sur ces instruments.

Les instruments de musique acoustiques traditionnels ont été mis au point et progressivement améliorés par les expérimentations et le savoir-faire de nombreuses générations de luthiers. L'apprentissage par les interprètes du jeu instrumental requiert de longues années d'étude et de travail. L'écriture, l'orchestration et la composition sont des disciplines issues d'une longue histoire. Pendant des siècles, ces trois activités, la lutherie, l'interprétation et la composition se sont développées en parallèle, de façon très liée.

La synthèse sonore par ordinateur, initialement développée et utilisée par les scientifiques, a ensuite été offerte aux compositeurs qui ont dû s'essayer à écrire de nouvelles musiques en étant détachés du monde instrumental. En effet, les instruments de synthèse mis à la disposition des compositeurs semblent rudimentaires par rapport aux instruments de lutherie. Ils nécessitent de nombreux paramètres écrits. Tous les paramètres du son, y compris dans sa microstructure, doivent être définis.

Le contrôle de la synthèse est un problème qui dépend de l'échelle de temps à laquelle on le rapporte.

Pour des ordres de grandeur avoisinant la seconde, on se situe à l'échelle de la « note », le terme de « note » ne s'appliquant ici que pour différencier des entités sonores présentant des caractéristiques stables, par analogie avec la notation musicale traditionnelle. Ce terme est inadapté dans le cas de la synthèse granulaire qui combine des éléments sonores de quelques centièmes de seconde ou dans le cas de sons continus qui évoluent progressivement pendant plusieurs minutes.

A l'échelle de la milliseconde, on contrôle les microvariations du son.

Enfin, le contrôle de la synthèse peut être appliqué à l'évolution d'une séquence de sons constituant une phrase musicale.

Les outils de synthèse les plus répandus ne prennent généralement en compte que l'échelle de la note.

**A l'échelle de la note**, le contrôle des paramètres de la synthèse peut être exercé de plusieurs façons : contrôle à partir de données issues de l'analyse de sons, contrôle formalisé par des fonctions arithmétiques, contrôle graphique ou contrôle gestuel.

Le contrôle à partir de **données issues de l'analyse** de sons instrumentaux est intéressant à plusieurs titres. Il permet d'envisager la synthèse des sons en continuité avec l'univers des instruments traditionnels. Cela permet au compositeur de rester dans un domaine qui lui est familier. C'est aussi un moyen simple de produire des sons dont les variations sont élaborées et familières pour l'oreille. Travailler dans ce sens permet en outre d'améliorer nos connaissances sur

l'acoustique des instruments de musique et de mieux percevoir ce qui fait leur spécificité.

Dans l'étude de la pièce de Fausto Romitelli, la plupart des sons de synthèse étaient contrôlés par des courbes provenant directement de l'analyse de sons instrumentaux. Ces analyses nous ont permis d'obtenir des modèles de variation des paramètres et des règles de corrélation. C'est le respect de ces règles qui a en général assuré la cohérence des sons produits.

Cependant, les règles issues de l'analyse de sons instrumentaux sont parfois une contrainte qu'il est difficile de dépasser.

L'utilisation de **fonctions arithmétiques** simples permet parfois d'élargir le champ des possibilités. A ce titre, les fonctions d'interpolation sont des outils primordiaux. Par exemple, après avoir remarqué que sur un instrument donné les partiels graves ont une attaque plus rapide que celles des partiels aigus, on peut créer une enveloppe pour les graves et une pour les aigus puis interpoler ces enveloppes pour obtenir les enveloppes des partiels intermédiaires.

Par contre, créer des sons sur des modèles mathématiques abstraits est une opération qui se révèle très délicate. Parmi les quelques exemples existant dans ce domaine, on peut citer les sons paradoxaux de Jean-Claude Risset. Ces sons utilisent une courbe de Gauss pour l'enveloppe d'amplitude des partiels et une droite pour l'enveloppe de fréquence [Risset-1969]. Le résultat est un son très lisse et synthétique aux caractéristiques auditives surprenantes. En dehors de cet exemple, les utilisations rigoureuses des mathématiques tendent plutôt à produire des effets sonores que des sons réellement musicaux.

Les **dispositifs graphiques** ont souvent été employés pour le contrôle de la synthèse. Iannis Xenakis a poussé cette expérience à l'extrême en mettant au point avec l'équipe du CEMAMu un dispositif de synthèse par ordinateur ne fonctionnant qu'à partir d'entrées graphiques.

De nombreux paramètres se prêtent à des représentations et des interprétations graphiques. C'est le cas pour l'enveloppe et le spectre du son pour lesquels nous arrivons assez facilement à faire le parallèle entre ce qui est vu et ce qui est entendu. A ce titre, le sonagramme est une représentation graphique du son très utile. Nous avons à maintes reprises utilisé des représentations graphiques du son pour apprendre à mieux le connaître mais aussi pour le modifier ou pour effectuer des synthèses.

La précision dont on dispose avec des outils de dessin et celle qui est nécessaire pour produire des sons musicaux sont rarement en adéquation, aussi les résultats que l'on obtient par contrôle graphique des paramètres sont souvent trop approximatifs. On peut, par contre, utiliser des outils graphiques pour le contrôle de paramètres secondaires ou retravailler les courbes, par exemple à l'aide de fonctions de lissage, pour produire des sons intéressants.

Le **contrôle gestuel** est une alternative pour le contrôle de la synthèse sur ordinateur.

Le contrôle gestuel a déjà fait ses preuves sur les instruments acoustiques traditionnels pour lesquels les interprètes sont hautement qualifiés. Dans le cas de la synthèse sonore informatique, le problème consiste à déterminer parmi l'ensemble des paramètres de la synthèse ceux qu'il est intéressant de faire contrôler par un interprète et surtout à trouver l'adéquation entre le geste employé pour le contrôle et l'effet sonore résultant. L'utilisation d'instruments traditionnels pour contrôler la synthèse donne rarement des résultats probants si ce n'est dans le cas où l'on cherche à prolonger un son instrumental par des sons de synthèse.

Le maniement de boutons et de curseurs placés sur un panneau de contrôle manque de finesse et de degrés de liberté. Une des meilleures applications de ce type d'outils est certainement le mixage des sons réalisé en studio ou lors de concerts. Dans ce cas, l'interprète, souvent le compositeur lui-même, gère le volume global du son et de ses éléments séparés à l'aide de quelques curseurs. Dans le cas des musiques acousmatiques pour lesquelles la diffusion du son se fait à partir d'une source stéréo vers une multitude de haut-parleurs, l'interprète contrôle les mouvements du son dans l'espace.

Plusieurs expérimentations concernant de nouveaux dispositifs gestuels spécialisés dans le contrôle du son de synthèse ont été citées dans le chapitre V. Il reste encore beaucoup à attendre des recherches effectuées dans ce domaine et de la diffusion de leurs résultats.

En plus des techniques de contrôle agissant au niveau de la note, différentes techniques de contrôle sont utilisées à **l'échelle des microvariations** du son. Tous les sons produits par les instruments de l'orchestre contiennent des microvariations complexes dont il est indispensable de tenir compte si l'on veut produire des sons de synthèse animés.

Pour le contrôle des microvariations, il est courant d'avoir recours aux fonctions aléatoires. Ces fonctions aléatoires peuvent être utilisées de plusieurs façons : l'aléatoire peut rester un facteur de second niveau qui ne masque pas les paramètres déterminés par le compositeur ou, au contraire, il peut être un facteur de premier plan.

Le « jitter » est souvent utilisé pour produire des microvariations aléatoires sur l'un des paramètres de la synthèse afin d'éviter que ce paramètre reste figé sur une valeur fixe.

Les fonctions aléatoires peuvent jouer un rôle plus important en intervenant à l'intérieur de la technique de synthèse. Dans la synthèse granulaire, la position de lecture des échantillons est souvent contrôlée par une fonction brownienne. Dans un même ordre d'idée, on peut citer les microdécalages aléatoires que nous avons produits sur l'attaque des partiels dans de nombreux sons de la pièce de Fausto Romitelli. Cela nous a permis de créer des déphasages entre les partiels et de faire apparaître ainsi tout un ensemble de battements et de vibrations secondaires donnant du mouvement au son.

L'utilisation de l'aléatoire par Iannis Xénakis prend des dimensions bien plus importantes lorsqu'il produit une musique stochastique. Dans ce cas, toutes les valeurs de hauteur, de durée ou d'amplitude des sons sont générées par des fonctions aléatoires qui ne sont décrites que par des paramètres de fonctions statistiques (densité, moyenne, écart). Dans le cas de la synthèse sonore, Xénakis a appliqué des lois stochastiques à la description de l'onde sonore elle-même au cours de son évolution temporelle, à l'échelle de la fraction de période ou fraction de forme d'onde [Serra-1993]. Le cas extrême est l'utilisation d'une fonction produisant une valeur aléatoire située entre le maximum et le minimum d'amplitude de l'onde pour chaque échantillon du son, ce qui aboutit à la production de bruit blanc.

Les fonctions aléatoires permettent de produire des variations sur un paramètre dont on contrôle l'évolution de façon statistique.

Les avancées en acoustique des fluides ou en thermodynamique ont permis d'établir certaines équations décrivant la turbulence des gaz soumis à des perturbations. Ces équations appliquées à la synthèse des sons permettent de générer des microvariations d'amplitude ou de fréquence [Bru-1996].

Les équations chaotiques permettent de créer des perturbations complexes qui peuvent présenter un intérêt musical. Elles permettent d'éviter la répétition que la plupart des fonctions algorithmiques produisent. Elles traduisent à la fois une organisation des valeurs qui peut avoir un sens musical et en même temps une imprévisibilité qui est susceptible de stimuler notre intérêt.

**A l'échelle de la phrase musicale**, le contrôle de l'articulation des sons de synthèse est un domaine encore peu exploré. Le synthétiseur Chant est un des rares programmes à proposer des règles contrôlant l'évolution des sons en fonction de leur articulation.

Sur la plupart des dispositifs de synthèse, les techniques qui permettent de construire une phrase musicale à partir d'une suite de notes produites par un même instrument sont limitées. Au mieux, elles interviennent sur la modification du spectre ou de la résonance en fonction de la hauteur de la note jouée et de son intensité.

Seul des programmes comme Diphone sont réellement consacrés à l'articulation des sons et permettent de construire des phrases musicales cohérentes.

En utilisant le programme PatchWork pour réaliser divers types de synthèses sonores, nous avons eu la possibilité de tirer parti des différentes techniques de contrôle de la synthèse, à l'exception du contrôle gestuel.

Nous avons pu combiner des données d'analyse, des fonctions algorithmiques, des fonctions d'interpolation, des outils graphiques ainsi que des systèmes d'édition musicale traditionnelle pour produire des sons, en puisant dans chacune de ces ressources des éléments complémentaires.

PatchWork nous a en outre permis de contrôler le son simultanément à des niveaux hiérarchiques différents. Ainsi, à tout moment de l'élaboration d'un son, ou plutôt d'une série de sons enchaînés, nous pouvions passer d'un niveau à un autre, changer des paramètres, produire le son, l'écouter, revenir en arrière et affiner les données.

Cependant, il manque encore à ce programme la possibilité de contrôler la synthèse à un niveau supérieur à la phrase musicale, dans une organisation qui permettrait de visualiser et d'éditer les variations des paramètres de contrôle en fonction du temps.

Les recherches actuelles de l'équipe de représentation musicale à l'Ircam portent sur la mise au point d'un nouvel environnement d'aide à la composition. Ce programme, « OpenMusic », est fortement inspiré de PatchWork, mais il intègre la programmation par objet à un niveau plus avancé et dispose d'une représentation temporelle des patches : les maquettes [Assayag, Agon-1997].

Nous espérons que cet environnement pourra répondre à nos attentes dans le domaine de la synthèse des sons et de son contrôle.

Une question se pose également. Le compositeur doit-il arriver à maîtriser cet ensemble d'outils ou est-il préférable qu'il délègue une partie de son travail à un ingénieur ou un assistant musical. Le travail avec l'informatique et les outils de studio devient de plus en plus indissociable d'une collaboration avec du personnel spécialisé. Le compositeur restera-t-il toujours dépendant de cette collaboration ou doit-il apprendre à manier la programmation informatique ?

Dans le cas d'une collaboration suivie, sur des années, l'ingénieur a le temps de comprendre la pensée du compositeur et ce dernier a le temps de comprendre les

possibilités des outils dont il dispose et ainsi de demander à l'ingénieur de les faire évoluer vers telle ou telle application. C'est dans ces cas de figure qu'on obtient les résultats les plus réussis, avec une réelle collaboration artistique et technique. On peut citer le travail de Michel Waisvitz avec son ingénieur Franck Baldé à Steim ainsi que les collaborations à l'Ircam entre Emmanuel Nunes et Eric Daubresse, Pierre Boulez avec Andrew Gerszo et Leslie Stuck ou encore Philippe Manoury et Miller Puckette. A chaque fois, ces collaborations se sont étendues sur une décennie environ et ont donné naissance à une complicité de laquelle ont émergé des œuvres uniques.

Néanmoins, il est important que le compositeur qui veut utiliser la synthèse ait une démarche personnelle assez poussée vers la connaissance des outils. Avec un programme comme PatchWork, la programmation est devenue accessible à qui veut bien investir du temps dans son apprentissage. Seul le compositeur qui maîtrise ses outils peut réellement faire une pièce dans laquelle il va au bout de ses convictions. Cela ne l'empêche pas de faire appel à des ingénieurs pour la réalisation d'outils qu'il aura préalablement clairement définis.

De façon idéale, un compositeur qui choisit de réaliser une pièce électroacoustique devrait pouvoir compter sur l'assistance d'un ingénieur pour l'aider à mettre au point les outils qui lui sont nécessaires et d'un ingénieur du son qui puisse l'aider à réaliser ses mixages. Mais c'est à lui de réaliser l'essentiel de l'œuvre.

Nous espérons que ce mémoire pourra être utile aux compositeurs, aux musicologues et aux scientifiques. Notre travail nous a placé souvent à la frontière de ces trois domaines. C'est leurs complémentarités et surtout leurs échanges qui pourront faire évoluer l'art-science de la musique électroacoustique. Il est important de diffuser le savoir pour permettre à chacun d'aller de l'avant.