

# L'interaction compositeur-ordinateur il y a 25 ans

## Composer-Computer Interaction 25 years ago

Nicolas V. Marmaras

Volume 18, Number 1, 2008

La fabrique des oeuvres

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/017912ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/017912ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

1183-1693 (print)

1488-9692 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Marmaras, N. V. (2008). L'interaction compositeur-ordinateur il y a 25 ans. *Circuit*, 18(1), 109–120. <https://doi.org/10.7202/017912ar>

Article abstract

The article revisits an ergonomic study on computer-assisted musical composition over 25 years ago. The goal was to observe the interaction between composers and computers and discern the effect of this new tool on the process of composing music. The projects of two composers working at Ircam and using two different computer systems are examined with emphasis on the *pragmatic constraints* encountered. The ergonomic analysis showed that the composition process adopted by the two composers entailed three main stages: (i) creating a composition space defined by various information system parameters, (ii) exploring the composition space in order to examine its possibilities, and (iii) attributing appropriate values to the parameters of the composition space to produce the desired music. In the case of the first project, the composition space consisted of simulated musical instruments whose psycho-acoustic parameters were not readily compatible with the information technology formalisms. This composer therefore had to enter into a learning situation akin to that of learning a musical instrument. But a number of pragmatic constraints (e.g., time lag between values fixing and listening, discrete modification of parameter values, etc.) ultimately stymied the learning and the composer could not complete the project using the computer system. In the case of the second project, the composer defined the compositional space at the conceptual level in a way that was compatible with the computer formalisms (mathematical-geometrical rules). Thus, despite pragmatic constraints, this composer was able to explore the compositional space more easily and ultimately create the desired music.

Besides its historical interest, this study remains valuable today. The pragmatic constraints inherent to any information system at least partly explains the difficulties faced by composers during computer-assisted composition, and identifying these constraints may point the way to improving these systems.

# L'interaction compositeur-ordinateur il y a 25 ans

Nicolas V. Marmaras

## Introduction

Cet article n'est pas musicologique ; c'est l'article d'un ergonome qui, il y a déjà plus de vingt-cinq ans, s'est lancé dans l'aventure de préparer une thèse sur la composition musicale assistée par ordinateur (Marmaras, 1984). Le but de la thèse était d'étudier l'interaction entre compositeur et ordinateur et de saisir la façon dont ce nouvel outil affectait le processus compositionnel.

Afin de réaliser cette étude, nous avons mené une analyse du travail d'un certain nombre de compositeurs qui utilisaient divers types de systèmes informatiques pour composer leurs œuvres. Outre l'étude des systèmes informatiques utilisés et les discussions avec les compositeurs et les informaticiens qui développaient les programmes et assistaient les compositeurs (désignés dans la suite de l'article par : assistant musical/informatique), nous avons aussi effectué des observations systématiques de la partie du processus compositionnel réalisée par ces derniers avec le système informatique. Pendant ces observations systématiques, nous avons collectionné des traces de leurs activités (par exemple enregistrement des verbalisations, des résultats sonores, des fichiers utilisés). Ces données, après une analyse appropriée, nous ont permis de reconstituer les processus cognitifs suivis par les compositeurs.

Nous allons d'abord présenter les projets de deux compositeurs qui travaillaient à l'IRCAM avec deux systèmes différents. Les deux œuvres ainsi réalisées ont été créées à l'IRCAM en 1984 et 1987. Nous nous concentrerons ensuite sur les *contraintes pragmatiques* rencontrées par les compositeurs.

Avec Bernard Pavard (Marmaras *et al* 1987), nous désignons par *contraintes pragmatiques* les propriétés d'un système informatique (aussi bien du matériel que du logiciel) qui entrent en jeu au cours de son utilisation pour atteindre un objectif donné et affectent les activités de son utilisateur. Nous utilisons le terme *contraintes pragmatiques* plutôt que celui de *contraintes techniques* pour souligner le fait que ces propriétés interviennent directement dans l'élaboration et la réalisation des processus cognitifs mis en jeu par l'utilisateur du système. Par conséquent, une contrainte pragmatique peut induire des représentations mentales, générer des actions, imposer des procédures.

Outre son intérêt historique, cette étude peut aussi avoir un intérêt pour ceux qui utilisent ou conçoivent des systèmes informatiques destinés à la composition musicale. Comme nous le montrerons, les contraintes pragmatiques expliquent en partie les difficultés rencontrées par les compositeurs qui essaient de réaliser une œuvre à l'aide d'un système informatique, et en même temps montrent les directions que doit prendre l'amélioration de ce dernier. Etant donné que les contraintes pragmatiques sont présentes dans l'utilisation de tout système informatique, leur identification dans ce cas particulier peut apporter des enseignements pour la conception des systèmes d'aujourd'hui.

### **Un projet compositionnel impliquant la programmation de traitements sonores**

Le projet musical du premier compositeur considéré était de composer une œuvre dont un des éléments compositionnels serait la fusion des caractéristiques acoustiques des instruments musicaux utilisés pour son exécution; par exemple, pendant l'émission d'un accord joué par plusieurs instruments, imposer à tous les instruments l'enveloppe dynamique de l'un d'entre eux. Cette fusion des caractéristiques acoustiques des instruments musicaux serait réalisée à l'aide du système informatique «4C».

Avant de procéder à la composition de son œuvre, le compositeur a voulu, d'une part, s'assurer de la valeur esthétique de son idée, d'autre part, explorer les possibilités qu'elle lui offrait sur le plan compositionnel. En d'autres termes, il souhaitait disposer d'un « espace compositionnel » dans lequel il pourrait expérimenter son idée. Ainsi il avait demandé un logiciel qui simulerait quatre instruments (flûte, hautbois, violoncelle et trombone), et qui lui donnerait la possibilité d'écrire des séquences musicales qui seraient exécutées par les instruments simulés. Les « partitions » de ces séquences auraient comme variables les caractéristiques acoustiques des instruments simulés.

Pendant la période de nos observations systématiques, les objectifs visés par le compositeur se développaient sur deux niveaux :

- explorer les possibilités offertes par le système 4C (niveau informatique) ;
- explorer son idée musicale à l’aide de l’espace compositionnel créé par le système (niveau compositionnel).

Il faut aussi noter que pendant cette période, le compositeur travaillait seul avec le système informatique. L’assistant musical/informatique qui avait développé le logiciel d’application n’intervenait qu’aux moments où le compositeur l’appelait en cas de problème.

### **Le système informatique 4C**

Le système 4C était un synthétiseur numérique conçu à l’IRCAM. Le système comportait :

- Un ordinateur PDP11/33 qui assurait la gestion du synthétiseur ;
- Le système de stockage des fichiers informatiques ;
- Le synthétiseur 4C, proprement dit, qui comportait une série de modules, lesquels, selon leur programmation, étaient capables de réaliser un certain nombre d’opérations ;
- Quatre convertisseurs digitaux/analogiques. Leurs signaux de sortie, en passant par les dispositifs du système d’audition (table de mixage, amplificateurs, etc.), arrivaient aux haut-parleurs et produisaient le signal audio ;
- Une imprimante pour l’édition sur papier des divers fichiers créés.

Le système 4C permettait une synthèse sonore en utilisant jusqu’à 64 oscillateurs, 32 générateurs d’enveloppes, ainsi que d’autres fonctions, comme, par exemple, des multiplicateurs / additionneurs, avec un taux de renouvellement de 16kHz, ce qui donnait une bande auditive effective de 6.4kHz. Le taux de renouvellement pouvait être multiplié par deux, quatre ou huit, mais moyennant un sacrifice des unités de production disponibles. Outre le système d’audition, l’interface utilisée pour la communication avec le système 4C, comportait un terminal à écran et un clavier alphanumérique. D’autres dispositifs, comme par exemple la « boîte de potentiomètres », pouvaient être utilisés après une programmation spécifique. Pendant la période de nos observations, la communication avec le système a été effectuée uniquement par l’intermédiaire du clavier alphanumérique pour l’entrée des données, et l’écran et les haut-parleurs pour la sortie des réponses du système.

La programmation du système 4C s’effectuait à l’aide du logiciel 4CEDL spécialement conçu pour le système, en langage C. Pour le dialogue avec le système, on avait utilisé un deuxième logiciel « éditeur ». Pour le projet compositionnel que nous avons étudié, un assistant musical/informaticien de

l'IRCAM avait conçu un logiciel d'application, qui se présentait sous forme de deux fichiers informatiques : le ACC<sub>4</sub>.FRO et le ACC<sub>4</sub>SC.FRO.

Le fichier ACC<sub>4</sub>.FRO contenait le programme qui effectuait la simulation des quatre instruments musicaux. Ce fichier comportait quatre ensembles de paramètres ; chaque ensemble étant constitué de 33 paramètres nécessaires à la synthèse du son de chacune des quatre instruments simulés. Les paramètres utilisés pour la définition des caractéristiques acoustiques du son ont été choisis par le concepteur de logiciel, à partir du modèle employé par la physique pour décrire le phénomène sonore, et en fonction de la méthode de synthèse utilisée par le système 4C. Ainsi, certains d'entre eux coïncidaient avec les paramètres du son définis en acoustique (par exemple, fréquence, intensité ou durée d'un événement sonore), tandis que d'autres étaient spécifiques au logiciel (par exemple, paramètres liés aux filtres).

Le deuxième fichier ACC<sub>4</sub>SC.FRO assurait la variation temporelle des paramètres. Ainsi, ce fichier constituait en quelque sorte la partition de la musique à produire ; c'est dans ce fichier que l'on déclarait les valeurs des paramètres des événements sonores des diverses séquences qui allaient être exécutées par le système.

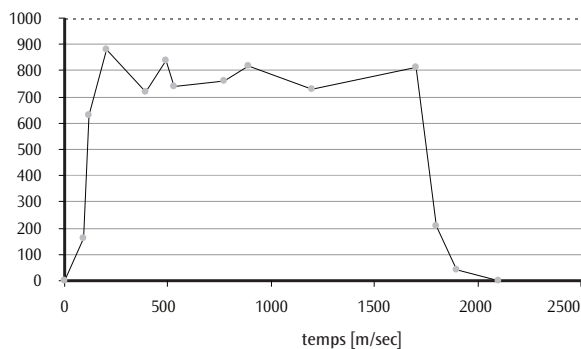
1. Le compositeur nommait les instruments musicaux simulés *voix* ; dans ce qui suit, nous avons donc choisi d'utiliser ce terme au lieu d'instruments musicaux simulés.

### Processus d'amélioration du son d'une voix<sup>1</sup>

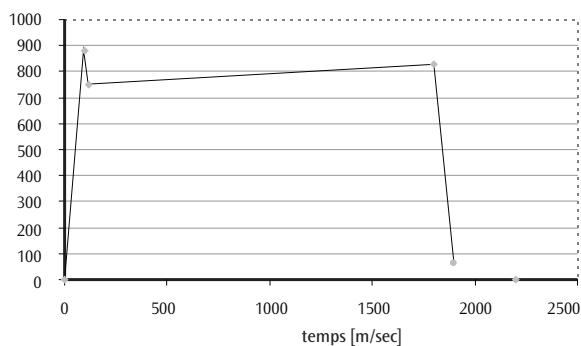
Le processus d'amélioration du son d'une voix consistait à modifier les valeurs des paramètres du logiciel qui définissaient le résultat sonore. Pour effectuer ces modifications, le compositeur s'est basé, dans un premier temps, sur les données issues d'une analyse physique du son des quatre instruments musicaux simulés. Ainsi, par exemple, à partir des données sur la forme de l'enveloppe dynamique de la flûte quand elle joue les notes  $la_4$ ,  $do_5$ ,  $la_5$  et  $la_6$ , le compositeur a essayé, sur papier, de tracer une enveloppe qui fût à la fois la « moyenne » de ces enveloppes et qui eût une forme simplifiée par rapport à elles (fig. 1a et 1b). Les coordonnées des points qui décrivaient la forme de l'enveloppe résultant de cette opération ont été utilisées comme valeurs pour les paramètres du logiciel.

Après avoir effectué ces modifications, le compositeur a procédé, dans un deuxième temps, à une nouvelle série de modifications, qui cette fois se sont basées sur un jugement auditif du résultat sonore. Pendant cette phase, le compositeur n'intervenait pas sur l'ensemble des paramètres du logiciel. Alors que le résultat sonore était fonction de 33 paramètres, les modifications portaient sur un nombre restreint d'entre eux, ceux qui définissaient les enveloppes dynamiques et les enveloppes des filtres.

**FIGURE 1A** Forme de l'enveloppe dynamique de la flûte quand elle joue la note  $la_4$   
(source : document appartenant au compositeur)



**FIGURE 1B** Forme de l'enveloppe dynamique de la flûte tracée par le compositeur  
(source : notes du compositeur)



Le processus d'amélioration du son d'une voix s'achevait par l'écriture et l'audition d'une séquence musicale composée par plusieurs événements sonores, chacun caractérisé par une fréquence, une intensité ou une durée différentes. Pourtant, on a constaté que l'amélioration du son des différentes voix et l'écriture des séquences musicales pour chaque voix ne se succédaient pas d'une manière régulière. Par exemple, selon un extrait de nos observations, le compositeur a commencé une séance de travail en modifiant la première et puis la deuxième voix; par la suite il a créé une partition pour la première voix, puis il a modifié la troisième voix, et il est revenu enfin à la deuxième voix. Après avoir effectué la re-modification et la création d'une partition pour cette voix, il est passé à la quatrième voix et il l'a modifiée. Ensuite, il a créé une partition pour toutes les quatre voix. Après l'audition

de cette partition, il est revenu à la quatrième voix, il l'a modifiée de nouveau et a terminé cette séance de travail en écoutant la partition créée pour les quatre voix.

### Identification des contraintes pragmatiques

La première contrainte pragmatique du système 4C qui se trouve à l'origine des processus et des actions du compositeur que nous avons observé, est la définition du produit sonore de chaque instrument simulé à partir des 33 paramètres du logiciel d'application. En effet, afin de pouvoir modifier effectivement le produit sonore, le compositeur doit disposer d'une représentation du son constitué par ces paramètres. Or les faits suivants nous ont conduit à supposer que cette représentation n'est pas compatible avec la représentation du son dont dispose le compositeur :

- Le vocabulaire utilisé par le compositeur pour décrire un son est différent de celui du logiciel. Par exemple, un son décrit par le compositeur comme « percussif » ou ayant « une attaque forte » – référence aux instruments musicaux ou à l'expérience d'auditeur –, dans le langage du logiciel devient « son dont l'enveloppe dynamique a pour forme  $\wedge$  » ou « son dont les paramètres  $Y_1, X_2, Y_2, X_3, Y_3, X_4, X_5$  (paramètres de l'enveloppe dynamique) ont les valeurs 5 %, 1000, 5 %, 500, 10 %, 50, 80 % et 0 respectivement ».
- Une série d'études dans le domaine de la psychoacoustique montrent qu'il existe un écart entre la description d'un événement sonore faite à partir des concepts et des mesures de la physique, et celle effectuée par l'homme au cours de la perception auditive. Ainsi par exemple, deux événements sonores décrits par la physique comme ayant une intensité identique (mesurée en dB) et une hauteur différente (fréquence fondamentale mesurée en Hz) peuvent être perçus comme ayant des intensités différentes. Un exemple équivalent est offert par Schaeffer (1977) : si on filtre la zone des fréquences contenant la fréquence fondamentale des sons graves du piano, la hauteur perçue de la note ne change pas, ce qui montre que, pour les sons complexes, la fréquence fondamentale n'est pas l'unique paramètre qui détermine la hauteur perçue comme le préconise le modèle de la physique.

Ainsi le compositeur entre dans une situation d'apprentissage, comparable à celle de quelqu'un qui essaye d'apprendre à jouer d'un instrument de musique. Or, à la différence des instruments traditionnels, le système 4C impose un certain nombre de contraintes pragmatiques qui rendent cet apprentissage presque impossible. Parmi ces contraintes on a pu identifier :

- la modification « discrète » des paramètres par l'intermédiaire du clavier alphabétique ;

- la codification des paramètres avec un système abstrait et arbitraire vis-à-vis de la perception du son ;
- l’interdépendance des paramètres vis-à-vis du résultat sonore ;
- le temps qui s’écoule entre la définition d’une valeur et l’écoute du résultat sonore.

À cause de ces contraintes pragmatiques et des difficultés au niveau cognitif qui en résultaient, le compositeur a finalement abandonné la tentative d’utiliser le système 4C pour la composition de son œuvre, qu’il a achevée en utilisant un synthétiseur analogique (système Buchla).

### **Un projet compositionnel basé sur des règles mathématico-géométriques**

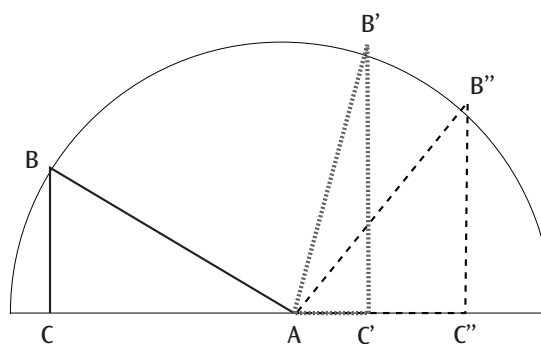
L’objectif du second compositeur considéré était de créer un espace compositionnel constitué d’onze espaces sonores désignés, selon sa terminologie, comme onze « cristallisations ». Chaque cristallisation devrait produire une musique d’une couleur sonore particulière. Cette couleur sonore résulterait de caractéristiques acoustiques telle que le timbre des sons, la densité des événements sonores ou le rythme de leur émission, qui par conséquent, seraient spécifiques pour chaque cristallisation. Les onze cristallisations étaient désignées par des noms de couleurs, comme par exemple quartz, jaune, orange, etc.

La musique de chaque cristallisation était produite par un programme informatique spécifique. Le compositeur décrivait ce programme comme un ensemble de machines-automates. Un certain nombre d’entre elles étaient chargées de produire des sons, tandis que d’autres intervenaient afin de donner un caractère particulier à ces sons – par exemple en filtrant les sons, en donnant une durée à chaque événement sonore ou en déterminant le mode de transition d’un événement à un autre (*glissando*, *staccato*, etc.). Chaque machine-automate était caractérisée par un certain nombre de paramètres. Par exemple, la machine qui produisait le vibrato des sons se caractérisait par un paramètre pour sa mise en œuvre, un paramètre pour déterminer l’amplitude du vibrato, un paramètre pour déterminer la fréquence des vibrations, etc. Lors de l’émission d’une séquence musicale, la variation temporelle des paramètres était dictée par des règles fixées à l’avance. Ces règles ont été établies à partir de schémas dynamiques, conçus par le compositeur. L’exemple suivant est caractéristique de ces schémas. Supposons que le triangle ABC (fig. 2) représente la forme de l’enveloppe spectrale d’un son. Si au cours de l’émission d’un événement sonore le sommet B du triangle parcourt la circonférence du cercle (O,R), le triangle prend successivement les formes ABC, AB’C’, AB’’C’’, etc. Ainsi, la règle qui décrit cette transformation du triangle



caractérisait par exemple l'évolution du paramètre enveloppe spectrale du son, lors de la production d'un évènement sonore. La variation temporelle des paramètres pourrait être également définie à partir de formules mathématiques, établies elles aussi par le compositeur. Par exemple, la formule  $\log_{0.35} x=y$ , pourrait spécifier l'évolution de la hauteur d'un son (paramètre  $y$ ) en fonction du temps (paramètre  $x$ ). Le nombre total des paramètres qui devraient être définis pour produire une cristallisation était dix-sept.

**FIGURE 2** Le triangle ABC qui représente la forme de l'enveloppe spectrale d'un son, et son évolution temporelle



À son arrivée à l'IRCAM, le projet du compositeur était donc constitué d'une série de données mathématico-géométriques fournies par une construction théorique qui dépasse les intentions du présent exposé. Nous nous contentons ici de noter que le compositeur, à ce moment-là, n'avait pas associé ces données abstraites à des attributs musicaux. C'était à partir de sa coopération avec l'assistant musical/informatique, et en fonction des besoins du programme informatique, que ces données abstraites sont devenues des constituants sonores ou compositionnels.

Pour la réalisation de ce projet, le compositeur a travaillé à l'IRCAM pendant sept mois environ. Son travail a été divisé en trois périodes, séparées chacune par un intervalle de cinq mois environ. Les deux premières périodes de travail ont été consacrées à la conception et à la réalisation des programmes informatiques, ainsi qu'à l'exploration de l'espace compositionnel qui en résultait. Pendant la troisième période, au cours de laquelle nous avons effectué nos observations, le compositeur a fait les choix définitifs, aboutissant à la production des séquences musicales qui sont devenues un des éléments compositionnels de son œuvre. À la différence du premier compositeur, ce compositeur travaillait en permanence avec un assistant musical/informatique. C'était ce dernier qui assurait le dialogue direct avec l'ordinateur.

## Le système informatique

Un gros ordinateur d'utilisation multiple (PDP10) constituait l'outil de base de ce projet. Les principaux dispositifs attachés à cet ordinateur étaient semblables à ceux utilisés dans le projet précédent (convertisseurs digitaux/analogiques, système d'audition, terminaux à écran et claviers alphanumériques, etc.).

Pour la réalisation du projet, deux logiciels ont été utilisés : (i) le logiciel MUSIC 10 qui était à la fois un langage de programmation et un programme de synthèse du son, et (ii) le programme CHANT qui était un logiciel conçu initialement pour la synthèse de la voix humaine (Rodet, 1980), mais qui était utilisé également pour la synthèse d'autres sons.

Le logiciel d'application qui a servi à la réalisation du projet, a été conçu par l'assistant musical/informatique. Le programme essentiel des onze cristallisations comportait deux types de fichiers : (i) les fichiers des règles qui contenaient les instructions pour la production de la musique de chacune des onze cristallisations, et (ii) les fichiers des paramètres qui contenaient les valeurs pour les paramètres des fichiers des règles. Ainsi, pour chaque cristallisation, le compositeur devrait dans un premier temps créer un fichier des règles, qui allait déterminer la manière dont la musique serait produite. Ensuite, il devrait créer un fichier des paramètres où seraient désignées les valeurs des divers paramètres du fichier des règles. Enfin, il existait un troisième type de fichiers, les fichiers-son qui contenaient les résultats des calculs, c'est-à-dire les musiques produites.

Le mode de synthèse du son était « direct », c'est-à-dire que le logiciel d'application prenait en charge le calcul de l'onde sonore (absence de synthétiseur). Ce mode de synthèse exigeait un temps important de programmation informatique. Il avait aussi des conséquences au niveau du temps de calcul de diverses productions sonores. Ainsi, tandis que, dans la précédente situation de travail où le mode de synthèse était mixte, le temps de calcul variait de zéro à quelques minutes, ici le temps de calcul variait de quelques minutes à quelques heures.

## Le travail pendant nos observations

Au cours de la période de nos observations, le compositeur et l'assistant musical/informatique travaillaient sur trois « cristallisations » : quartz, jaune et orange.

Le travail sur la cristallisation quartz avait pour objectif de reproduire une musique comparable à celle produite à une phase antérieure, dont on disposait un échantillon enregistré sur bande magnétique, mais pas le fichier des paramètres. Plus particulièrement, au cours de la phase d'exploration

des possibilités du programme informatique des cristallisations (juillet-août 1982), le compositeur avait trouvé un exemple sonore satisfaisant pour l'attribuer à une cristallisation. Comme il n'avait pas, à cette époque, défini cette cristallisation, le fichier des paramètres qui avait servi à produire cette musique devait avoir été soit transformé, soit détruit. Ainsi, le compositeur et l'assistant musical/informaticien cherchaient (février 1983) à créer de nouveau ce fichier de paramètres, en utilisant comme données un fichier de règles supposé avoir été employé pour obtenir cette musique et l'échantillon enregistré sur bande magnétique. Afin d'atteindre cet objectif, le compositeur et l'assistant musical/informaticien ont défini un fichier de paramètres dans lequel ils ont fixé des valeurs pour les paramètres du fichier des règles. Par la suite, ils ont engagé une série de modifications des valeurs de ces paramètres, en écoutant chaque fois le produit sonore qui en résultait. Le jugement des résultats sonores ainsi obtenus leur permettait de juger l'écart entre ces résultats et la musique qu'ils voulaient reproduire, et en même temps d'estimer l'effet sonore résultant des modifications apportées aux paramètres. Ce processus s'est terminé quand l'écart entre le résultat sonore et l'exemple « modèle » a été jugé acceptable.

Le travail sur la cristallisation jaune avait pour objectif de produire une musique dont les principales caractéristiques acoustiques ont été décrites par le compositeur. Dans ce cas, les données de départ au niveau informatique étaient un fichier des règles et un fichier des paramètres, définis en commun par le compositeur et l'assistant musical/informaticien. À partir de ces fichiers, ils ont procédé à une série de modifications des valeurs des paramètres, suivies de l'audition du résultat sonore, jusqu'à ce que ce résultat soit satisfaisant pour le compositeur.

Enfin, au cours du travail sur la cristallisation jaune, le compositeur avait trouvé qu'une des productions sonores était intéressante, mais il a préféré la réserver à une nouvelle cristallisation. Il a donc attribué les fichiers des règles et des paramètres associés à cette production à la cristallisation or-orange.

### Identification des contraintes pragmatiques

À la différence du premier cas, ici les paramètres du matériau sonore et compositionnel ont été définis, dans leur majorité, par le compositeur. Pourtant, étant donné leur caractère abstrait (règles mathématico-géométriques), ainsi que l'interaction des divers paramètres, le compositeur ne pouvait pas prévoir leurs effets exacts au niveau du produit sonore. C'est pourquoi il avait besoin du travail d'exploration de l'espace compositionnel qu'il avait mené dans la période qui avait précédé celle de nos observations. On pourrait donc supposer

que le compositeur était ainsi arrivé à maîtriser jusqu'à un certain point son « outil ». Cette hypothèse n'est cependant que partiellement confirmée. En effet, comme on a pu constater en ce qui concernait la « cristallisation jaune », le compositeur, avec le soutien de l'assistant musical/informatique, était arrivé assez facilement à obtenir une musique proche de celle qu'il désirait (au bout d'environ trois heures de travail sur les paramètres). Par contre, le cas de la « cristallisation quartz », ressortant d'une autre catégorie de « cristallisation », a montré que le compositeur, ainsi que l'assistant musical/informatique, ne maîtrisaient pas suffisamment leur outil. Comme on a pu le constater, ils ont travaillé pendant environ vingt heures, pour parvenir à produire une musique semblable à celle enregistrée sur bande magnétique. On peut donc conclure que les paramètres du matériel sonore et compositionnel constituent aussi dans ce cas une contrainte pragmatique.

Une deuxième contrainte pragmatique était l'importance des temps de calcul qui, comme nous l'avons déjà signalé plus haut, variaient de quelques minutes à quelques heures. On a observé au moins deux conséquences de cette contrainte au niveau des processus cognitifs mis en jeu par le compositeur et l'assistant musical/informaticien. D'après l'analyse du discours que nous avons réalisée à partir de leurs échanges parlés, le processus de recherche de la combinaison des paramètres qui pourrait produire soit une musique désirée (cas de la « cristallisation jaune »), soit une musique connue (cas de la « cristallisation quartz »), contenait parmi d'autres les actions suivantes :

- i. Proposition d'une piste de recherche
- ii. Proposition d'une modification
- iii. Explications sur une modification proposée
- iv. Réalisation d'une modification
- v. Ecoute d'un nouvel exemple sonore
- vi. Jugement d'un exemple sonore
- vii. Discussion sur l'effet sonore d'une modification
- viii. Explication d'un résultat sonore en se référant aux valeurs des paramètres

À cause du temps de calcul, les actions i à iv étaient séparées des actions v à viii de quelques minutes à quelques heures. Cela poussait le compositeur et l'assistant musical/informaticien à « emboîter » les processus, c'est-à-dire à faire plusieurs modifications avant d'écouter les résultats des modifications précédentes. Cette stratégie économisait du temps, mais diminuait l'efficacité de la recherche du produit sonore désiré et chargeait considérablement la mémoire du compositeur et de l'assistant musical/informatique. En effet, au moment où ils écoutaient un résultat sonore, ils devaient se souvenir de la piste de recherche qui les avaient conduits à faire telle ou telle modification, ce qui n'était pas toujours évident.

Malgré ces contraintes pragmatiques, comme on l'a déjà indiqué, le compositeur a pu mener à bien son projet et composer son œuvre selon son idée initiale.

## Épilogue

Bien que les projets des deux compositeurs aient été différents, ainsi que les systèmes informatiques qu'ils ont utilisés, leur processus compositionnel se caractérisait par trois étapes similaires : (i) création d'un espace compositionnel décrit au niveau du système informatique par un certain nombre de paramètres, (ii) exploration de l'espace compositionnel afin d'examiner ses possibilités, (iii) attribution aux paramètres de l'espace sonore des valeurs qui vont produire une musique souhaitable. Dans le cas du second projet, l'espace compositionnel était défini par le compositeur, au niveau conceptuel, d'une manière compatible avec les formalismes de l'informatique (règles mathématico-géométriques). Ainsi, et malgré les contraintes pragmatiques *paramètres du logiciel et temps de calcul*, il est arrivé plus facilement à explorer l'espace compositionnel et finalement à créer la musique qu'il souhaitait. Par contre, dans le cas du premier projet, l'espace compositionnel était constitué des instruments musicaux, dont les paramètres psychoacoustiques ne peuvent pas être facilement formalisés d'une manière compatible à l'informatique. Cela avait obligé le compositeur, pendant l'étape de l'exploration de l'espace compositionnel, à entrer dans une situation d'apprentissage, comparable à celle de l'apprentissage d'un instrument de musique. Or, à cause d'une série de contraintes pragmatiques (par exemple le temps d'écoute différé et la modification discrète des valeurs des paramètres), un tel apprentissage n'a pas pu se réaliser. Ainsi, on peut conclure que les contraintes pragmatiques ont empêché le compositeur de réaliser son projet en utilisant le système informatique.

Les systèmes informatiques actuels posent-ils des contraintes pragmatiques semblables ou différentes de celles d'il y a vingt cinq ans ? A vous de juger !

## BIBLIOGRAPHIE

- MARMARAS, N. (1984), *Identification des contraintes pragmatiques rencontrées lors de la conception assistée par ordinateur : une approche méthodologique*, Thèse de Docteur Ingénieur en Ergonomie, Paris, CNAM.
- MARMARAS, N., Pavard, B. & Xanthoudakis, H. (1987), « Les changements de représentations induits par les dispositifs informatiques : le cas de la synthèse musicale ». *Journal of Psychology – USSR Academy of Sciences*, t. 8, n° 1, pp. 147-150.
- RODET, X. (1980), « Time-Domain Formant-Wave-Function Synthesis », in Simon, J.K. (ed.) *Spoken Language Generation and Understanding*, NATO Advanced Study Institutes.
- SCHAEFFER, P. (1977), *Traité des objets musicaux* [nouvelle édition], Paris, Seuil.