

DEUX CONTRIBUTIONS À LA PÉDAGOGIE DE LA MUSIQUE ÉLECTROACOUSTIQUE ET DE L'INFORMATIQUE MUSICALE

António de SOUSA DIAS
CICM - Université Paris VIII
MSH Paris Nord
sousa.dias@wanadoo.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons ici une partie des outils que nous avons développés dans le cadre de nos cours de musique électroacoustique à *Escola Superior de Música de Lisboa* puis durant nos années de doctorat. L'objectif principal de l'utilisation de ces outils dans le cadre de l'enseignement de la composition était de permettre aux étudiants de penser, comprendre et intégrer différents types de synthèse sonore indépendamment du logiciel employé et, par ailleurs, de se confronter à une pratique déjà existante dans les œuvres de certains auteurs. Les exemples choisis portent sur la modélisation d'une section de *Electronische Studie II* (1954) de Stockhausen sur *Csound* et d'une partie du travail de Jean-Claude Risset sur *Turbosynth*, *Csound* et *Max/MSP*. Ils sont téléchargeables sur le site du CICM¹.

Ce travail tient également au fait que, paradoxalement, le transfert vers le milieu numérique a contribué à rendre les œuvres plus périssables, en raison des difficultés croissantes d'accès aux appareils.

Les difficultés rencontrées et les solutions proposées permettent finalement à l'étudiant de composition de se concentrer sur les enjeux musicaux en travaillant les œuvres au cœur de leurs principes.

1. INTRODUCTION

Au Portugal, avant la baisse des prix survenue vers la fin des années 80, il était difficile pour un projet d'avoir la garantie de travailler sur le même synthétiseur si l'on changeait de studio. Nous étions confrontés à un double problème : (1) la recherche d'invariants par rapport à différents appareils et systèmes de synthèse, ayant pour but (2) la possibilité de transfert technologique comme condition pour la préservation des œuvres, sa reproduction et son étude.

En raison de notre propre pratique pédagogique, ainsi que pour l'établissement d'une pédagogie pour la musique électroacoustique adaptée à la réalité du

Portugal des années 90, il était nécessaire de transformer cette situation.

Notre engagement personnel dans l'enseignement de la musique électroacoustique à *Escola Superior de Música de Lisboa* (incluant la synthèse sonore) nous a naturellement mené à une recherche de cas d'étude, en particulier à partir des travaux de Jean-Claude Risset. Selon lui, il existe des problèmes en informatique musicale car :

« La vitesse du changement technologique rend vite caducs les appareillages spécialisés, ce qui gêne la constitution d'un corpus de savoir-faire, l'approfondissement d'une tradition de composition et d'interprétation et d'écoute et la décantation de "classiques". Aussi est-il important d'assurer la portabilité des dispositifs technologiques de réalisation sonore, surtout si celle-ci est réalisée en temps réel et non "sur support", c'est-à-dire sous forme d'un enregistrement. »

« Bien des démarches significatives sont mal comprises, ignorées ou oubliées. La musicologie est en effet mal armée pour rendre compte des démarches de l'informatique musicale, manquant de documents immédiatement exploitables comme une partition traditionnelle. Or, la plupart du temps, ces documents existent, mais ils doivent être mis "en clair". » [17]

Il est en cela d'accord avec Marc Battier, puisqu'il :

« ... peut donc dire avec Marc Battier (1992) que l'usage de boîtes à outils logicielles que sont les programmes Music n et ses dérivés, un "environnement réticulé", a favorisé le développement d'une "économie d'échanges" concernant le savoir-faire sonore. L'accroissement du savoir-faire a donc fourni des pistes pour des outils de création sonore, ou, si l'on préfère, des clés pour bâtir ses propres outils de création virtuels à l'aide de ces boîtes à outils logicielles. » [18]

¹ <http://cicm.mshparisnord.org>

Dans cette perspective, nous reprenons ici deux aspects du travail que nous avons développé à cette époque : l'étude et la transcription de la première section d'*Electronische Studie II* de Stockhausen et celles des techniques décrites par Risset.

2. VUE D'ENSEMBLE

À l'opposé des œuvres destinées à être jouées *live*, *Electronische Studie II* n'est pas supposée être « jouée » : il est communément admis que l'enregistrement est l'œuvre et qu'il n'est pas à refaire (à interpréter) mais à reproduire. Cependant, Stockhausen, comme Risset [14], a exprimé une volonté de transmission [23] des « recettes de fabrication », ce qui permet une confrontation entre le résultat enregistré et la mise en œuvre des prescriptions de la partition.

Ainsi, l'intérêt de présenter et de discuter une simulation de la première section de l'œuvre en *Csound* est que cette modélisation nous a permis d'avoir une vision plus claire de cette œuvre et de la démarche entreprise pour la construction d'instruments exhibant un caractère sonore non-stationnaire.

En ce qui concerne l'implantation des techniques numériques développées par Risset dans d'autres environnements, il s'agit d'un transfert du numérique vers le numérique, c'est-à-dire d'un transcodage. Nous retenons ici quatre exemples de synthèse :

- La modélisation d'une cloche ;
- La cascade harmonique ;
- Le glissando / changement d'octave perpétuel ;
- Le délai avec ou sans rétroaction.

Nous retiendrons principalement les *Cloches* et la *Cascade harmonique* que nous avons d'abord porté sur *Turbosynth*. La raison de ce choix est d'ordre pédagogique car ils permettent de poser bien d'autres questions d'efficacité de programmation de synthétiseurs (même analogiques) et de perception. Il s'agit donc d'un aspect de la problématique du transfert des techniques développées dans le milieu numérique concernant la pérennité des œuvres et le besoin de constitution de bases de travail pour l'établissement d'une tradition. Le problème aurait pu être abordé d'une façon différente : certaines formes de composition ne peuvent être basées sur une approche empirique ancrée dans une manipulation rapide de certains paramètres. Pourtant, ces formes nécessitent des méthodes et des moyens rationalisant le temps d'attente des résultats pour rendre efficace la boucle de feedback action-perception.

Le problème est posé par Risset : le temps réel ne satisfait pas à une composition réfléchie. Mais alors de quel temps réel parle-t-on ? Le temps réel de l'actuation, voir de la réaction immédiate à une stimulation extérieure en vue d'un résultat rapide ou encore, s'agit-il au contraire, du souci d'avoir une idée préalable, approximative d'un résultat de synthèse ?

En ce qui concerne nos implantations sur *Max/MSP*, nous proposons en réponse une double approche : d'une part, une idée précise du type de technique à implanter, d'autre part le fait de rendre disponible des moyens, soit d'expérimentation, soit de mémorisation des résultats, en vue de les travailler localement avec plus de précision. Notre objectif principal réside dans la manipulation de morphologies en les rendant accessibles plus directement, sans perte de précision de contrôle au niveau de l'accès à chaque paramètre.

Notre recherche nous a permis d'envisager l'étude d'une maîtrise de la synthèse sonore axée sur la composition musicale, en adaptant ces mêmes travaux à différents environnements musicaux tels que *Csound*, *OpenMusic* ou *Max/MSP*, et nous avons nous-mêmes utilisé dans nos œuvres électroacoustiques et instrumentales des adaptations de ces « recettes » de synthèse depuis le début des années 90.

3. L'ELECTRONISCHE STUDIE II(1954) DE STOCKHAUSEN

Pour *Elektronische Studie II* (1954) de Stockhausen, les orchestres et partitions *Csound* que nous présentons¹ proposent une simulation du début de l'œuvre décliné en deux versions.

Conscients des difficultés rapportées par Ebbecke [7], nous avons réalisé une première transcription respectant le niveau de surface de la partie qu'on appelle communément de « partition » : l'indication de la disposition temporelle des événements et leur comportement global. Ainsi, notre premier pas (fichiers *studie IIa.orc* et *studie IIa.sco*) a consisté dans la transcription de la partition et la conception de l'orchestre. Nous avons décidé de concevoir celui-ci comme un instrument se dédoublant en cinq variantes : à chaque nombre d'instruments correspond un type de mélange sonore (*Tongemisch*²). Évidemment, ces instruments ne restituent pas le résultat qu'on entend dans l'œuvre. En effet, à l'époque Stockhausen se confrontait à la recherche de moyens pour dépasser le caractère très statique des matériaux de *Elektronische Studie I*, en intégrant certaines familles de bruits dans la composition [23]. Dans la partition [22], il décrit, d'ailleurs, la méthode d'obtention de tels sons.

La deuxième version de l'orchestre prend en considération la totalité des informations de la partition, c'est-à-dire que les instruments créés simulent une possibilité d'obtention des sons proches de ceux de l'œuvre, bien que par un moyen détourné (en temps-réel et non au préalable). Le déclenchement de l'instrument provoque une succession d'impulsions respectant les fréquences et les durées indiquées envoyée dans une chambre de réverbération réglée à 10 secondes. Le résultat, saisi après une demie-seconde, est soumis à une modulation de forme dynamique ; c'est-à-dire qu'on

¹ <http://ciem.mshparisnord.net/download/StockhStudieII.zip>

² Stockhausen emploie ici la terminologie proposée par Eimert, cf. [7] et [9].

n'entend aucun son produit par l'instrument pendant sa première seconde d'activation. La seule modification de la partition consiste dans l'ajout d'une seconde à la durée de chaque événement (fichiers *studie I1b.orc* et *studie I1b.sco*).

Ce résultat est plus convaincant que le premier, parce qu'il traduit plus fidèlement la partition concernant les dispositions temporelles, mais surtout par la méthode d'obtention des résultats.

De plus cette procédure permet d'approcher les intentions de Stockhausen [23] :

« Dans *Studie II*, on a employé une procédure spéciale pour obtenir les événements sonores non-stationnaires (dûs au manque de systèmes suffisamment raffinés de filtrage), qui a permis d'intégrer la famille des bruits dans la composition. »

Cette affirmation contrarie l'idée véhiculée par Ebbeke. Selon lui, l'utilisation de la chambre d'échos « procure aux mélanges sonores une coloration que le « projet de départ » ne prévoyait pas. » [7]

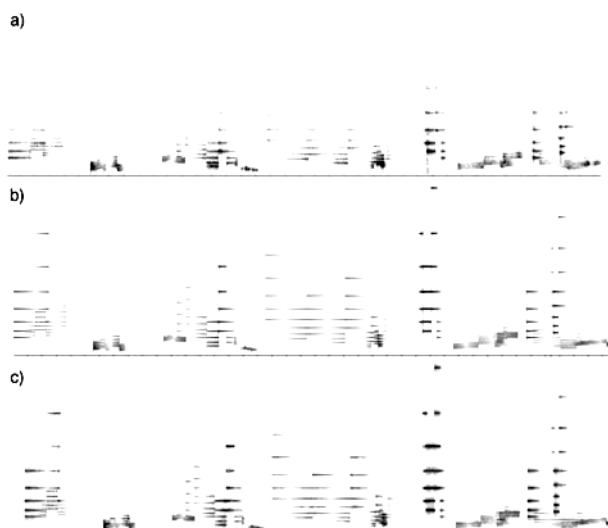


Figure 1. Sonagrammes du début de *Electronisch Studie II* : a) original ; b) simulation 1 (fréquences, intensités et durées) ; c) simulation 2 (semblable à la version 1 en ajoutant la procédure d'obtention des sons) on remarque la similitude entre a) et c).

Le patch *Max/MSP* accompagnant les fichiers *Csound* consiste dans un synthétiseur monophonique en proposant les deux mêmes approches en temps réel. Le patch de Georg Hajdu [11], bien que remarquable, ne respecte pas le point essentiel du dispositif de Stockhausen : comme notre première déclinaison (et malgré la réverbération) nous entendons les oscillateurs pendant toute la durée de chaque mélange sonore. Or la prescription de Stockhausen ne prévoit que l'écoute du résultat à travers la réverbération : elle est le son lui-même et non un effet ajouté. De plus, l'alimentation de celle-ci par des fragments sonores non prolongés contribue également au caractère sonore particulier de cette œuvre.

4. TRANSFERT DES TECHNIQUES NUMERIQUES : DE *MUSIC V* A *MAX/MSP* ; LE TRAVAIL DE JEAN-CLAUDE RISSET

Les choix de Dodge [6] représentent un bon exemple de la contribution de Risset à la préservation des savoirs et à la recherche, du point de vue scientifique, artistique et de la pratique pédagogique. Nous avons pris ici deux directions : la transcription vers des systèmes similaires (réécritures de fichiers *Music V* dans *Csound*) et le transfert vers d'autres environnements (réécriture dans *OpenMusic* [20] ou *Max/MSP* et *Turbosynth*).

Les fichiers *Csound* proposés¹ sont des exemples des transcriptions extraites du *Catalogue...* (1969) [14], d'*Itharmonique* (1977) [13] et de *Countours* (1982) [5]. Certaines de nos transcriptions ne sont pas les premières et on peut trouver des propositions reprises dans Boulanger [3] et Garder [10]. Cependant, elles ont le mérite d'avoir un style de codage plus proche des listages *Music V*, ce qui permet à l'étudiant un contact plus aisé avec les textes originaux notamment [14] et [13].

Les patches *Max/MSP*² constituent une première en ce qui concerne le transcodage de certaines techniques de Risset dans cet environnement³ :

- La modélisation d'une cloche ;
- La cascade harmonique ;
- Les sons paradoxaux ;
- Le délai avec ou sans rétroaction.

4.1. Les Cloches et Resonant Sound Spaces – PLF6

L'implantation des cloches selon les modèles décrits par Risset et codés d'après les renseignements de Risset [16], Lorrain [13] et Dodge [6] nous a permis d'envisager différentes formes de transcription.

La première a été le transfert vers *Turbosynth*, en raison des logiciels disponibles à l'époque à ESML. L'intérêt pédagogique dans cet exercice était double : d'une part envisager une synthèse économique en termes d'emploi d'oscillateurs, et d'autre part montrer l'importance de la perception pour la définition de certains contextes plus ou moins harmoniques. Cette proposition employait deux oscillateurs avec une table d'onde ne contenant que des harmoniques supérieures (à partir du 5e harmonique). Ainsi le rapport entre ces harmoniques devient presque inharmonique en raison de l'absence des premiers harmoniques, et du fait que la fondamentale se situe à très basse fréquence (ici 22 Hz pour le premier oscillateur et 22,2 Hz pour le second).

Nous avons ensuite entamé des transcodages sur *Csound*, en particulier le passage initial de *Mutations* (1969) et les passages faisant appel à des cloches dans

¹ <http://cicm.mshparisnord.org/download/RissetCsound.zip>

² <http://cicm.mshparisnord.org/download/RissetMaxMSP.zip>

³ Une première version des patches *OpenMusic*, *Csound* et *Max/MSP* ont été déposés au Forum Ircam en 2001. <ftp://ftp.ircam.fr/pub/forumnet/max/MSP/applications/>.

Inharmonique (1977). Puis, nous avons envisagé de réaliser un *patch Max/MSP* pour l'obtention de ces sons.

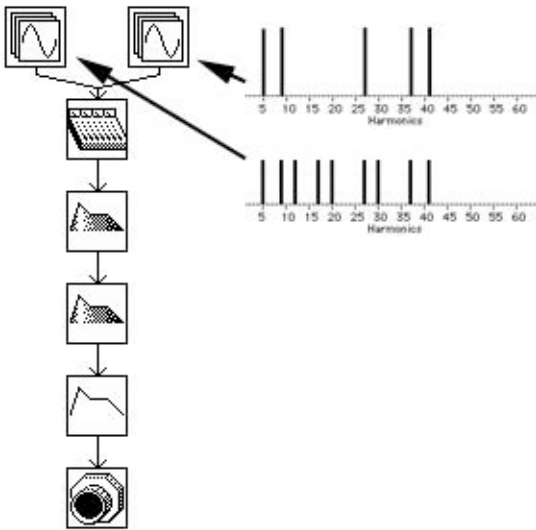


Figure 2. Le *patch TurboSynth Bell2 example* (d'après Jean-Claude Risset): fenêtre principale et contenu harmonique des deux oscillateurs. Le décalage entre les deux oscillateurs génère les battements rendant le son plus vif (ici les 5e harmoniques ont les fréquences de 110 et de 111 Hz respectivement).

Nous avons ajouté à ce *patch* la possibilité de préparer une partition *Csound* sauvegardant certains choix relatifs aux formes d'onde pour l'enveloppe et le déclenchement d'événements.

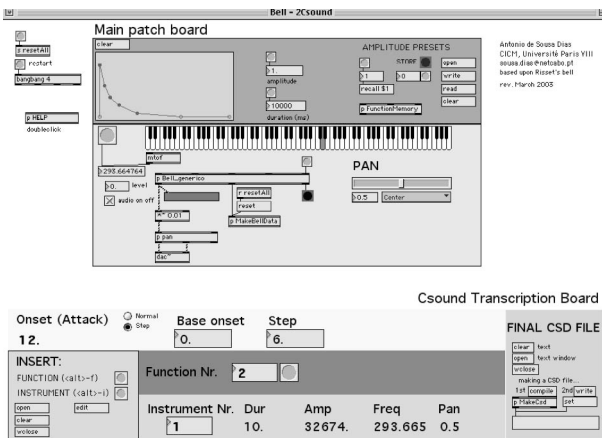


Figure 3. Le *patch Bell-2Csound* (d'après Jean-Claude Risset): définitions pour la simulation de cloches): fenêtre principale.

On accomplit ainsi une boucle où, à partir d'un logiciel tel que *MusicV*, qui prend comme base des instructions sous une forme textuelle discrète et en passant par *Max/MSP/Jitter*, où la communication se fait à travers des interfaces graphiques, on privilégie le geste pour revenir à des fichiers texte cette fois-ci dans *Csound*.

Ce travail a permis à Daniel Arfib une adaptation vers un autre *patch* plus développé et flexible [19], pour la pièce de Jean-Claude Risset, *Resonant Sound Spaces*. Ce *patch*, <plf6> est basé sur une implémentation en

MusicV qui permet de générer des structures inharmoniques. Nous avons repris ce *patch* en y introduisant des modifications pour étudier les nouvelles possibilités offertes par l'objet *poly~* dont l'implantation sur *Max/MSP* était tout à fait récente à l'époque.

En remplaçant les copies du *patch bell-abs* par son intégration dans l'objet *poly~*, ainsi que les objets *break point function editor* par l'objet *zigzag~*, notre implémentation permet:

- une « quasi-polyphonie »: l'envoi des déclenchements des composantes successives de façon circulaire vers l'objet *poly~*, paramétré à 50 voix permet une « séquentialité parallèle »;
- l'usage des définitions de structures ayant un nombre variable de composantes: dans la version pour *Resonant Sound Spaces*, les structures sont toujours définies par 11 composantes, tandis que, dans *Inharmonique*, leur nombre variait.

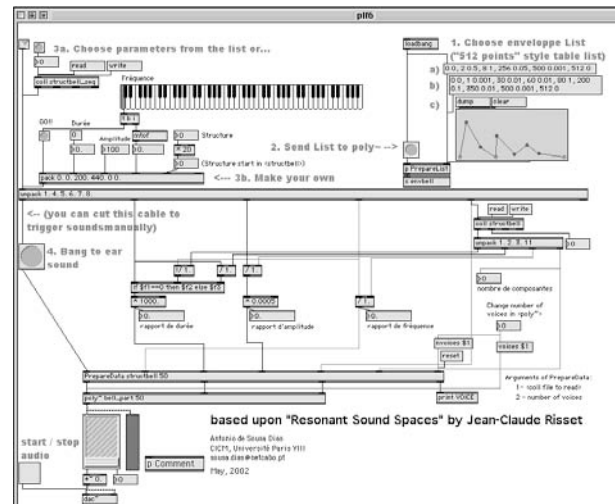


Figure 4. Le *patch plf6* (d'après Jean-Claude Risset, *Resonant Sound Spaces*, *patch PLF6*): fenêtre principale.

4.2. La Cascade harmonique

La cascade harmonique résulte de l'application du phénomène connu sous le nom de « battements » au cas où il y a de nombreuses composantes.

Pour mieux en comprendre l'enjeu, nous exposons ici le phénomène avec deux composantes seulement. La formule qui le traduit est la suivante :

$$\sin(\omega_1) + \sin(\omega_2) = 2 \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\right) \quad (1)$$

avec $\omega_1 = 2\pi f_1$ et $\omega_2 = 2\pi f_2$.

Ainsi, nous pouvons voir que le terme

$$\cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}\right)$$

impose une modulation d'amplitude au signal, surtout si les fréquences f_1 et f_2 sont très proches. Dans le cas où il y a plusieurs composantes, l'effet sera plus accentué et, dans le cas de sons composés d'harmoniques, ceux-ci auront une « pulsation » dont la vitesse est proportionnelle à la vitesse de pulsation de la fondamentale. Ceci provoque un effet de cascade des harmoniques du son, en les soulignant individuellement, effet d'autant plus accentué dès qu'il s'agit des composantes de la région grave du spectre, c'est-à-dire des premiers harmoniques.

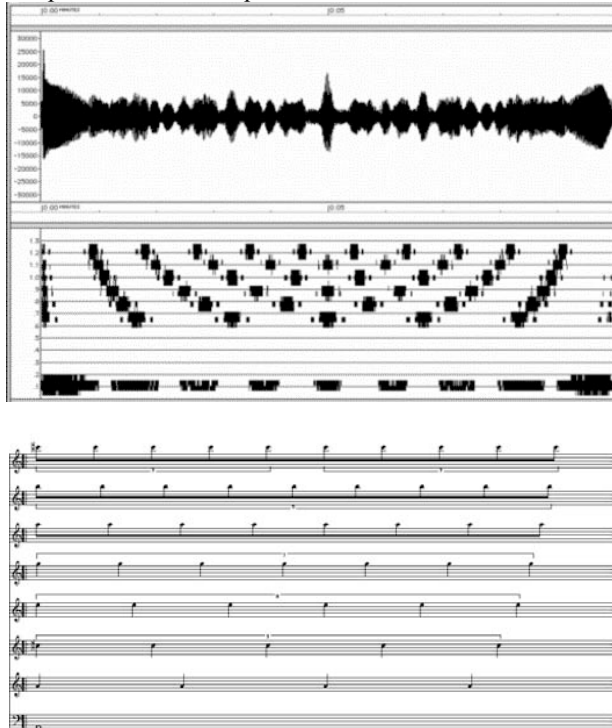


Figure 5. Exemple de Cascade harmonique : forme d'onde, sonagramme et transcription approximative (d'après Jean-Claude Risset, *Inharmonique*, 1977).

En effet, l'usage que Risset en fait dans *Inharmonique* s'applique généralement aux harmoniques 4 à 10, c'est-à-dire ayant entre eux des proportions se situant entre une échelle et un arpegge.

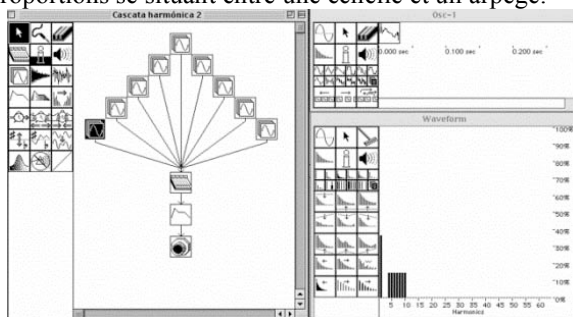


Figure 6. Cascade harmonique, *patch Turbosynth* (d'après Jean-Claude Risset) : fenêtre principale et forme d'onde employée. Le regard et l'écoute de chaque oscillateur séparément nous conduit à imaginer

comme résultat le même son renforcé, alors que ce n'est pas le cas.

Pour l'implantation en *Max/MSP* de la Cascade harmonique nous avons ajouté deux caractéristiques :

- la forme d'onde est éditable, soit en temps réel, soit un harmonique à la fois, bien que la table utilisée soit limitée à l'utilisation des premiers 64 harmoniques d'un son ;
- la forme d'onde peut résulter de l'interpolation entre deux formes d'onde ; ceci crée un double mouvement : le mouvement de l'entrecroisement des battements des harmoniques et la transformation de ceux-ci concernant la composition du spectre.

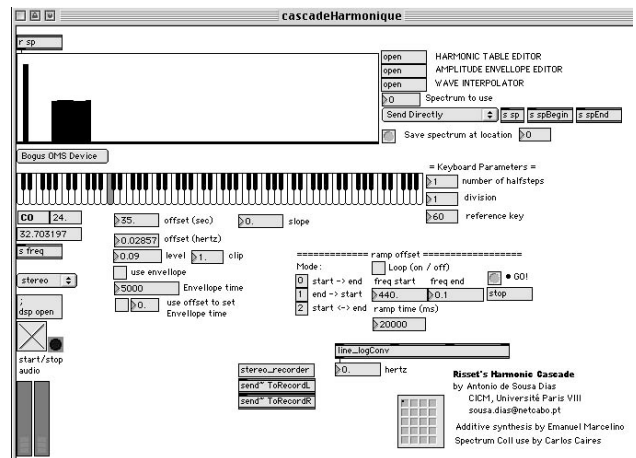


Figure 7. Le *patch cascadeHarmonique* (d'après Jean-Claude Risset, *Inharmonique*, 1977) : fenêtre principale.

Les autres caractéristiques du *patch* concernent le contrôle des paramètres comme la vitesse de la cascade, qui peut être définie en Hertz ou en secondes.

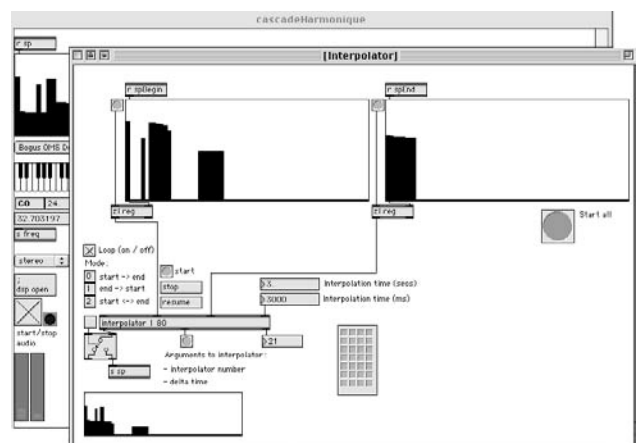


Figure 8. Le *patch cascadeHarmonique* (d'après Jean-Claude Risset, *Inharmonique*, 1977) : fenêtre pour l'interpolation de formes d'onde.

4.3. Les sons paradoxaux

Le glissando perpétuel et les sons sans octave fixe appartiennent à une classe de sons nommés de sons paradoxaux [15] par Risset, en raison de leur caractère d'invraisemblance.

La dernière version de la réalisation en *Max/MSP* a été améliorée en ce qui concerne le synchronisme au niveau des échantillons et est proposée ici en deux versions. Nous avons utilisé plus largement l'objet *phasor~* et l'objet *rate~*. Ce dernier, pilotant les objets *cycle~* à travers la phase contrôlée par l'objet *phasor~*, permet d'atteindre une synchronisation plus précise, fondamentale pour l'obtention de l'effet.

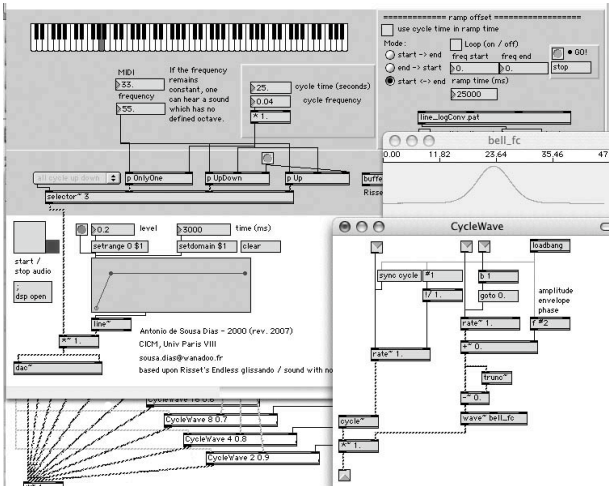


Figure 9. Le patch *ParadoxicalSoundsV1.pat* (d'après Jean-Claude Risset, *Catalogue*, glissando perpétuel) : fenêtre principale, souspatches *UpDown* et *CycleWave* et table d'onde *bell_func*.

Ce patch, contrairement aux versions postérieures de Larkin [12] et Dailleau [4], dissocie le cycle d'amplitude du cycle de hauteur permettant de générer deux types de sons, le glissandi perpétuel et le son sans octave fixe. Plus récemment, une deuxième version de notre patch (*ParadoxicalSoundsV2.pat*) propose une approche encore plus globale en intégrant le paradoxe du rythme de Knowlton également utilisé par Risset.

4.4. Le délai avec ou sans rétroaction

Le délai avec ou sans rétroaction consiste en la transformation de lecture d'un fichier audio à travers la superposition des copies décalées de ce même fichier. Le réglage de rétroaction (*feedback*) impose sur le son un renforcement de certaines fréquences (résonance) simulant le comportement d'un filtre en peigne.

De fait, cette technique repose sur deux équations presque équivalentes :

$$y_n = ax_n + bx_{n-k} \quad (2)$$

et

$$y_n = ax_n - by_{n-k} \quad (3)$$

L'équation (2) représente un filtre non récursif d'ordre k (correspondant à l'addition de l'original avec sa copie décalée de k échantillons) tandis que l'équation (3) représente un filtre récursif d'ordre k .

L'intérêt de cette technique résulte de la possibilité d'imposer une structure harmonique au son, en décalant différentes copies de celui-ci. On en trouve un exemple d'utilisation frappant dans le troisième mouvement de *Sud* de Risset.

4.5. Remarques finales

Dans le cas des cloches, les *patches* qui permettent leur manipulation rendent possible la transcription des résultats obtenus vers *Csound*, soit par exportation de fichiers de texte, soit à travers l'objet *Csound~*. L'objet *jit.cellblock* permet la visualisation et l'édition du fichier de texte représentant la partition à envoyer vers *Csound*.

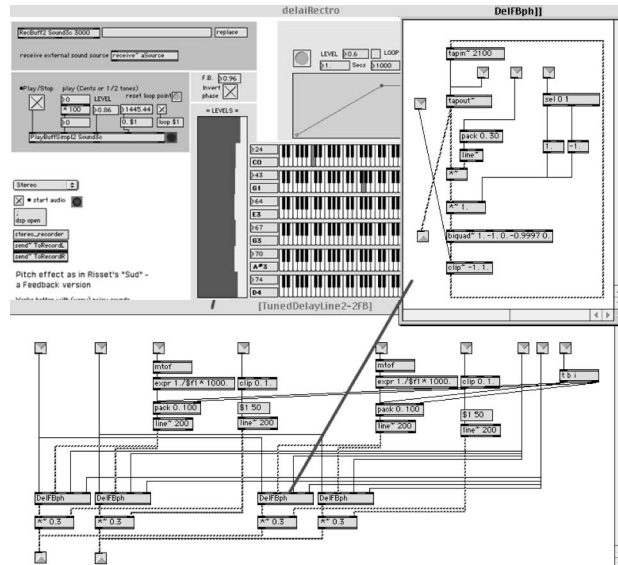


Figure 10. Le patch *delaiRectro* (d'après Jean-Claude Risset, *Sud*) : fenêtre principale et souspatches *TunedDelayLine2-2FB* et *DelFBph*.

Un des intérêts de ces *patches* réside dans la possibilité d'emploi de différentes formes d'onde et dans la réalisation des interpolations en temps réel.

Mais, le plus important reste la complémentarité entre un environnement qui permet une approche plus instinctive (*MSP*) et une autre plus réfléchie, mais aussi plus précise du point de vue du synchronisme, au niveau de l'échantillon (*Csound*). Ainsi, après avoir choisi des matériaux et des procédés en *MSP*, on peut les produire avec *Csound* ou les enregistrer directement.

Finalement, concernant l'utilisation pédagogique des logiciels à l'ESML, Turbosynth n'a représenté qu'un pas intermédiaire, avant *Csound* et *Max/MSP*. Cependant, sa disponibilité à l'époque nous a permis de confronter l'étudiant au problème du rapport du son à l'image (ex. la cascade harmonique) et de présenter des techniques pour obtenir des sons inharmoniques à partir d'oscillateurs (ex. les cloches).

6. RÉFÉRENCES

5. CONCLUSION

Les deux cas d'étude présentés ici ont été choisis pour atteindre certains objectifs dans le cadre d'un apprentissage de la musique électroacoustique et de l'informatique musicale.

À cet égard, ils représentent deux démarches reposant sur une bonne connaissance et compréhension des mécanismes de perception et d'une maîtrise des aspects technologiques. De plus, leur étude permet à l'étudiant de se confronter à deux moments technologiquement différents de l'histoire de la musique électroacoustique et de l'informatique musicale.

Ils présentent néanmoins des difficultés bien définies :

- pour le transfert analogique-numérique, se pose ici le problème de la reproduction et de l'intégration des mécanismes du montage et traitement sonore analogique dans des instruments numériques ;
- pour le transcodage numérique-numérique, le problème réside alors dans le délicat équilibre entre efficacité de la programmation et fidélité de la transcription, le maintien du synchronisme au niveau de l'échantillon dans le passage au temps réel et dans les décisions concernant la préservation ou non de certaines routines de traitement comme les sous-routines *plf* dans le cas de *Music-V*.

Ce cadre permet à l'étudiant d'appréhender ces difficultés et de les dépasser pour se concentrer sur les enjeux musicaux notamment en ce qui concerne :

- la construction des instruments ayant un comportement riche non nécessairement conforme aux « instruments acoustiquement viables »[1] ;
- les différents niveaux et fonctions d'une partition ;
- l'articulation entre les nécessités musicales, les possibilités technologiques et les capacités psychophysiologiques.

Concernant ce dernier point, le glissandi perpétuel de Risset est rendu possible grâce à la bonne connaissance du mode de fonctionnement de notre oreille et sa réponse aux différentes fréquences. Par ailleurs, pour Stockhausen, le choix du point de départ des fréquences (100 Hz, en dessous la réponse de notre oreille est de moins en moins linéaire) et leur intervalle permet une correspondance entre impératifs sériels et réponse auditive.

- [1] Beck, S. D. « Designing Acoustically Viable Instruments in Csound », Boulanger, R. (éd.) *The Csound Book*, 2000, 155-170.
- [2] Boulanger, R. (éd.) *The Csound Book – Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing and Programming*, MIT, Massachusetts, 2000.
- [3] Boulanger, R. (éd.) « Selections from Risset » in *The Csound Catalog with Audio*, inclus dans Boulanger, R. (éd.) *The Csound Book*, <http://csounds.com/catalogfrom/>.
- [4] Dailleau, L., « shepard.pat » et « shepvoice.pat », inclus dans le message *Re: shepard tone [message #31198 is a reply to message #31191]*, <http://www.cycling74.com/forums/>, avril 2004.
- [5] Di Scipio, A. « An Analysis of Jean-Claude Risset's Contours », *Journal Of New Music Research*, 29(1), 2000, 1-21.
- [6] Dodge, C. ; Jerse, T. A. *Computer Music: Synthesis, Composition, and Performance*. Schirmer Books, New York, 1985.
- [7] Ebbecke, K., « La vue et l'ouïe — Problématique des partitions dans la musique électro-acoustique », *Contrechamps: Musiques Électroniques*, Vol.11. L'Âge de l'Homme, Paris, 1990, 70-79.
- [8] Eimert, H. « What is Electronic Music? » in Eimert, Herbert; Stockhausen, Karlheinz, (ed.) *Die Reihe I*. Universal Edition (Trad. ing. Theodore Presser Co., 1957), Vienna, 1955, 1-10.
- [9] Eimert, H. *Elektronische Musik (Akustische und Theoretische Grundbegriffe / Zur Geschichte und Zur Kompositionstechnik)*. Wergo Schallplattenverlag, Baden-Baden (LP WER 60006), 1963
- [10] Gather, J.-Ph. Amsterdam Catalogue of Csound Computer Instruments v1.2, <http://www.music.buffalo.edu/hiller/accci/> (dernière consultation le 18.03.2007)
- [11] Hajdu, G. « Karlheinz Stockhausen: Elektronische STUDIE (1954), Real-time version », patch Max/MSP « stockhausen-studie-II.pat », http://www.georghajdu.de/studie_ii.html (dernière consultation le 18.03.2007).
- [12] Larkin, O. « 1 octave shepard/risset tone patch », <http://www.synthesisters.com/hypermail/max-msp/Apr04/11481.html>, 2004 (dernière consultation le 18.03.2007).

- [13] Lorrain, D. *Analyse de la bande magnétique de l'œuvre de Jean-Claude Risset "Inharmonique"*, Centre Georges Pompidou (Rapport IRCAM n° 26/80), Paris, 1980.
- [14] Risset, J.-C. « An introductory catalog of computer-synthesized sounds (1969) », reedité dans *The historical CD of digital sound synthesis*, CD Wergo 2033-2, 1995, 109-254.
- [15] Risset, J.-C. « Paradoxical Sounds » in Mathews, Max V. ; Pierce, John R. *Current directions in Computer Music Research*, The MIT Press, Cambridge (MA), 1989, 149-158.
- [16] Risset, J.-C. « Additive Synthesis of Inharmonic Tones » in Mathews, Max V. ; Pierce, John R. *Current directions in Computer Music*, The MIT Press, Cambridge (MA), 1989, 159-163.
- [17] Risset, J.-C., « Un survol de l'informatique musicale », [1998]. <http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/musique/risset/artscien.htm> (dernière consultation le 12.02.2007)
- [18] Risset, J.-C., « Évolution des outils de création sonore » in Vinet, H. ; Delalande, F. (dir.). *Interfaces homme-machine et création musicale*, 1999, 17-36.
- [19] 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 neuvièmes Journées d'Informatique Musicale*, ADERIM-GMEM, Marseille, 2002, 83-88.
- [20] Sousa Dias, A. « Transcription de fichiers Music V vers Csound au travers de OpenMusic », *Actes des dixièmes Journées d'Informatique Musicale*, AFIM, Montbeliard, 2003.
- [21] Sousa Dias, A. *L'objet sonore : Situation, évaluation et potentialités — Un paradigme pour la création d'outils de composition musicale*, Thèse de doctorat, Paris, Université Paris 8, 2005.
- [22] Stockhausen, K., *Nr. 3 Elektronische Studie* Universal Edition, London, 1956.
- [23] Stockhausen, K., « Elektronische Studie I und II », *TEXTE zur Musik*, Vol. 2, Cologne : DuMont-Buchverlag, 1964, cit. in « Studie II (1954) Electronic Music » in *Karlheinz Stockhausen – Compact disc 3*, livret, 1996, 30-39 et 123-134.