

**De "Inharmonique" à "Resonant Sound Spaces" :
temps réel et mise en espace**

Risset, J.-C., Arfib, D., de Sousa Dias, A., Lorrain, D., Pottier, L.
jcrisset@lma.cnrs-mrs.fr
LMA, CNRS
31, chemin Joseph Aiguier
13402 Marseille Cedex 20

Résumé

L'un des auteurs (Jean-Claude Risset) présente son œuvre *Resonant Sound Spaces*, créée le 24 mai 2002 à Marseille. Pour la réalisation de cette œuvre, il a bénéficié à des titres divers de la collaboration des autres auteurs. Denis Lorrain a explicité de façon complète les structures sonores utilisées par Risset dans une œuvre antérieure, *Inharmonique*, réalisée en 1977 avec le logiciel de synthèse temps différé *MusicV*. À partir de cette description, Antonio de Sousa Dias a programmé sur *Max-MSP* des mises en œuvre de ces structures fonctionnant en temps réel. Daniel Arfib y a adjoint des contrôles en temps réel et des filtres résonnants. Grâce à ces possibilités, Jean-Claude Risset a pu tirer parti de l'interaction temps réel pour réaliser *Resonant Soundscapes*, œuvre 2 pistes sur support. La dernière étape aboutit à *Resonant Sound Spaces*, œuvre 8 pistes, grâce au système de spatialisation *Holophon* conçu et réalisé par Laurent Pottier. La présentation illustrera les démarches par des exemples sonores dont plusieurs seront réalisés en temps réel.

Mots clefs : composition, effets audionumériques, spatialisation, synthèse, temps réel

1 Introduction

L'un des auteurs (J.-C. R.) présente son œuvre *Resonant Sound Spaces*, créée le 24 mai 2002 à Marseille dans le cadre du Festival GEMM "Les musiques". Pour la réalisation de cette œuvre, il a bénéficié à des titres divers de la collaboration des autres auteurs, ce qui lui a permis de recourir à des recettes de synthèse développées il y a un quart de siècle, de les exploiter en temps réel, et de réaliser une spatialisation sur 8 pistes à partir des éléments de mixage d'une œuvre d'abord réalisée sur 2 pistes. La structure de l'œuvre sera brièvement décrite, puis les démarches évoquées seront illustrées par des exemples sonores dont plusieurs seront réalisés en temps réel.

2 Présentation de Resonant Sound Spaces

Resonant Sound Spaces (Espaces résonnants) est une "mise en espace" de *Resonant Soundscapes (Paysages résonnants)*, œuvre commandée en 2001 par la ville de Bâle et dédiée à Gerald Bennett.

Notre audition est bien équipée pour analyser un son en termes du paradigme excitation/résonance : elle peut faire la part entre les aspects agogique et structurel (en temps et hors temps). Sans être une étude systématique, l'œuvre utilise essentiellement des matériaux sonores naturels ou synthétiques se référant à des processus de résonance : percussions et cordes pincées (vibrations libres de solides excités), cuivres et trompes (vibrations forcées de masses d'air), filtres résonnants, réverbération.

L'adjectif *résonnant* évoque aussi des réactions toutes particulières à des sons ou à des événements spécifiques. La pièce cite ou évoque de tels éléments : variantes du son de cloche initial du *Poème électronique* de Varèse (au début et à la fin de l'œuvre), percussions issues de l'instrumentarium de Thierry Miroglio, motifs chantés par Irène Jarsky ou joués par Denise Mégevand à la harpe celtique, Michel Portal et Serge Conte à la clarinette, concerts symphoniques de cloches organisés par Llorenç Barber.

La spatialisation transformant les paysages en espaces sonores — de *Soundscape*s à *Sound Spaces* — a été effectuée sur les sessions *ProTools* multipistes, c'est-à-dire en partant de la multiplicité des sources sonores originelles avant leur mélange en stéréophonie. La dissémination spatiale des sons accentue le relief, au sens propre comme au sens figuré : elle augmente la capacité de l'écoute à démêler le fouillis des composantes simultanées, facilitant pour l'auditeur une exploration personnelle du territoire sonore proposé, mais elle exploite aussi des figures spatiales.

La durée totale de la pièce est d'environ 14 mn. Les titres proposés pour chacune des 5 sections font référence aux matériaux ou aux processus invoqués — souvent illusoires ou "virtuels".

1. *Cloches, cuivres, métal* (2mn45s). Cette section recourt surtout à des sons enregistrés, auxquels sont appliqués des traitements assez simples : changements de fréquence, parfois sans changement de durée, renversements temporels. Au début, on entend trois variantes par resynthèse du son de cloche ouvrant le *Poème électronique* de Varèse, à partir d'une analyse réalisée par Vincent Verfaille. La spatialisation situe l'origine des sons divers dans divers lieux — elle ne suggère qu'exceptionnellement des mouvements de sources sonores.

2. *Filtres* (2mn52s). Après un début où des appels de cuivres se répondent, un écho filtré introduit un tuilage d'arpèges variés de clarinette montant vers un la, un si ou un fa, entendus à travers des filtres résonnants accordés à certaines harmonies. Le sentiment de giration est renforcé par des rotations spatiales, dans le sens des astres pour les motifs aboutissant au fa et dans l'autre sens pour les autres. À la fin, deux percussions fixes introduisent un motif de flûte, vif dans son articulation comme dans sa rotation, et un appel du "genre oiseau", qui s'éloigne lentement autour des auditeurs.

3. *Plectres* (1mn54s). Grâce à la commande par ordinateur du mouvement des marteaux et des étouffoirs, le piano mécanisé *Yamaha Disklavier* du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique du CNRS à Marseille aide à faire du piano une variante de la harpe et à produire les sons par des actions directes sur les cordes, à la façon d'un plectre. Le placement des doigts à certains endroits sur la corde inhibe certains partiels et renforce d'autres. La spatialisation tente de suggérer l'extension des résonances sur des tables d'harmonie de grandes dimensions.

4. *Reverbéré* (3mn17s). Foules, cris et rires, rumeurs, cymbales, chœurs, voix, orgue, dans une vaste réverbération lentement mobile. La section se conclut sur les lointaines explosions d'un désastre obscur.

5. *Cloches, trompes* (3mn40s). Scandé par des appels de trompes de bateaux, la cinquième section se souvient du livre *Les cloches de Bâle* : à des enregistrements ou reconstitutions de cloches matérielles répond un carillon virtuel de sons de synthèse. Ce carillon déploie des structures composées hors temps réel il y a vingt cinq ans, et qui peuvent être invoquées par des gestes en temps réel pour donner lieu à des sons du genre cloches aussi bien qu'à des textures fluides ou rebondissantes. La spatialisation remplit l'espace en démultipliant les sources et en les dématérialisant par des mouvements illusoires.

*Resonant Soundscape*s a été réalisée à Marseille sur un ordinateur portable G3, à l'aide des logiciels suivants : *MaxMSP*, *ProTools*, *SoundHack*, *Peak*, *MusicV*. La réalisation de cette pièce sur support (pour "bande") a utilisé des outils — *MaxMSP* et le piano *Yamaha Disklavier* — permettant le contrôle des sons en direct. La spatialisation de *Resonant Sound Spaces* a été effectuée sur un ordinateur G4 du Groupe de Musique Expérimentale de Marseille grâce à l'aide de Laurent Pottier et de son logiciel *Holophon*. Il faut mentionner l'aide de Vincent Verfaille et Jérôme Decque.

3 Mise en œuvre temps réel : d'*Inharmonique* à *Resonant Sound Spaces*

En 1977, Jean-Claude Risset a réalisé *Inharmonique* à l'IRCAM. La bande magnétique de cette œuvre pour soprano et bande comporte presque uniquement des sons synthétisés par ordinateur à l'aide du programme *MusicV*. En particulier le titre fait allusion à l'usage suivi d'un ensemble de structures inharmoniques composées comme des accords et susceptibles de certaines transformations. Chaque structure est numérotée, et on peut l'invoquer dans la partition *MusicV* en se référant à ce numéro. On peut imaginer une structure comme un son de cloche pour lequel on aurait choisi un certain nombre de composantes (de 5 à 20 environ) dont chacune a une fréquence, une amplitude et une durée bien déterminées. Pour chaque structure, on définit trois paramètres globaux : la durée (celle de la composante la plus longue), l'amplitude (l'amplitude maximum résultant de l'addition de toutes les composantes), et la hauteur perçue (appréciée à l'écoute : elle peut être ambiguë, mais en tout cas on décide d'une valeur). Un programme "PLF" permet de réaliser des variations sur une structure à partir d'une spécification de paramètres globaux différents de ceux de cette structure : ce programme modifie en conséquence fréquence, amplitude et durée sur toutes les composantes. Si l'on spécifie pour l'amplitude une autre valeur, le programme multipliera toutes les amplitudes par le rapport amplitude spécifiée / amplitude définie ; si l'on spécifie pour la hauteur une autre valeur, le programme multipliera toutes les hauteurs par le rapport hauteur spécifiée / hauteur définie, et en même temps il multipliera les durées dans le rapport inverse. Toutefois, dans ce dernier cas, la modification de durée peut être supplantée par la spécification d'une durée, auquel cas les durées seront multipliées par le rapport durée spécifiée / durée définie. Les structures sont ainsi assorties de transformations qui facilitent une transposition "naturelle" suivant une échelle de hauteur, mais sans empêcher d'autres modifications.

On doit choisir pour chaque instantiation d'une structure une fonction enveloppe décrivant l'évolution temporelle de l'amplitude pour toutes les composantes d'une même structure : bien que cette enveloppe soit unique, les évolutions des diverses composantes ne sont pas synchrones, puisque leurs durées sont différentes. Pour obtenir un son évoquant une cloche, il faut choisir une fonction enveloppe donnant lieu à une attaque rapide et une décroissance lente. Si l'on modifie cette fonction, on obtient des textures différentes. S'il n'y a plus d'attaque synchrone mais des évolutions différentes, les composantes ont moins tendance à fusionner à l'oreille, et l'on peut obtenir une trame évolutive plutôt qu'un objet sonore unique : "l'intérieur" du son, ses composantes spectrales, peuvent émerger plus clairement, comme les couleurs d'une lumière blanche dispersée par un prisme. Il y a là une possibilité de transformations intimes qui modifient les aspects agogiques, "en-temps", en préservant l'harmonie interne "hors-temps".

Denis Lorrain a réalisé en 1980 une analyse d'*Inharmonique* qui est aussi une reconstitution : pour chaque séquence analysée, il a fourni des partitions *MusicV* décrivant les structures sonores de façon exhaustive et permettant de les reconstituer. Il a ainsi explicité les structures harmoniques décrites ci-dessous en expliquant le choix des paramètres des composantes, des paramètres globaux d'une structure et des modes de transformations. Nous en tirons ici un exemple numérique pour fixer les idées :

L'instruction *MusicV* qui suit définit une structure inharmonique numérotée 1280, qui comporte 9 composantes; l'amplitude globale est de 975, la hauteur perçue 349, elle doit être jouée par l'instrument n° 3; la première composante a pour fréquence, durée et amplitude 675 Hz, 24 s, 200 (unités arbitraires) respectivement, la deuxième composante a pour fréquence, durée et amplitude 124 Hz, 16 s, 200, et ainsi de suite; la durée globale correspond à la durée de la composante la plus longue, soit 24 s :

```
SV1 0 1280 9 975 349 3 675 24 200 124 16 200 346 22 200 1108 17 200 1634 6 200
2249 3 200 2941 2 200 3700 1.5 200
```

4504 0.8 200;

L'instruction PLF 0 6 ci-dessous s'applique à 4 instructions NOT qui la suivent, et qui définissent 4 instanciations (diversement transposées) de la structure n° 1280, jouée avec l'instrument 3. Les deux premières jouent aux instants 1 et 30 et reproduisent la structure sans transposition (par défaut, la durée 0 indique la durée définie, et éventuellement modifiée en fonction des transpositions), mais avec l'amplitude globale 2000 (les amplitudes des composantes définies dans l'instruction SV1 0 1280 seront donc multipliées par 2000/975). Les deux suivantes jouent la structure transposée vers l'aigu d'une l'octave (hauteur perçue correspondant à 698 Hz : toutes les fréquences des composantes seront multipliées par $698/349 = 2$; la troisième joue la structure à l'instant avec des durées deux fois plus courtes (par défaut, la durée 0 sera remplacée par la durée globale définie multipliée par l'inverse du rapport de transposition de hauteur) et une amplitude globale de 500 (toutes amplitudes divisées par 4 par rapport aux deux premières notes); la quatrième joue la structure à l'instant 90 avec cette même amplitude globale et des durées deux fois plus longues (spécifiées par la durée 48 indiquée pour cette note).

```
PLF 0 6 4 1280;  
NOT 1 3 0 2000 349;  
NOT 30 3 24 2000 349;  
NOT 60 3 0 500 698;  
NOT 90 3 48 500 698;
```

La figure 1 donne des représentations à 3 dimensions - amplitude, fréquence, temps - pour une même structure comportant 4 composantes dont les durées varient en sens inverse des fréquences. (a) correspond à l'utilisation d'une enveloppe de type percussif. Pour (b), l'enveloppe a une attaque et une décroissance graduelle, ce qui donne lieu à une texture fluide. Pour (c), les "rebonds" de la courbe d'enveloppe provoquent des maxima d'amplitude à des moments différents pour les diverses composantes, ce qui cause une sorte de scintillation spectrale.

Fig. 1

À partir de cette explicitation, Antonio de Sousa Dias a pu vingt ans plus tard reconstituer ces structures par synthèse en utilisant d'autres logiciels, à savoir d'une part *Csound*, d'autre part *MaxMSP*.

Daniel Arfib a repris la mise en œuvre sur *MaxMSP* et l'a aménagée pour qu'on puisse commander la synthèse soit en temps réel, en cliquant sur les boîtes correspondant aux structures déclenchées et au profil dynamique souhaité, soit hors temps réel, en réalisant une partition spécifiant à l'avance toutes les informations nécessaires, comme dans *MusicV* ou *Csound*. Jean-Claude Risset a utilisé les deux processus pour réaliser un "carillon virtuel" : différentes structures sont répétées à des rythmes différents qui convergent occasionnellement — le carillon est conclu par deux grands accords "tutti". Ce passage mélange des sons du genre cloche et des variantes inharmoniques utilisant des fonctions d'enveloppe non percussives qui donnent lieu à des textures fluides ou rebondissantes.

La figure 2 montre des patches MaxMSP servant à produire en temps réel les variantes des structures inharmoniques de 11 composantes définies dans *structbell*. La définition de la première structure occupe les lignes commençant par 0, 1, 2, ... , 11. La ligne 0, 226 20 1400; précise que cette structure a pour hauteur perçue 226 Hz, pour durée 20 s et pour amplitude globale 1400; la ligne 1, 224 20 150; précise que la première composante a pour fréquence 224 Hz, pour durée 20 s, pour amplitude 150; la ligne 2, 225 18 100; précise de même que la deuxième composante a pour fréquence 225 Hz, pour durée 18 s, pour amplitude 100 (ce qui provoque avec la

précédente un battement partiel); et ainsi de suite jusqu'à la ligne 11, 1628 1.2 200;. Ensuite une nouvelle structure est définie de la même façon entre la ligne commençant par 20 et la ligne commençant par 31, et ainsi de suite. Le patch plf6 appelle les structures en stipulant les transpositions. Ainsi le cartouche en haut à gauche appelle à la seconde 28.5 la première structure, repérée par le champ suivant 0 (la seconde serait repérée par 20, la troisième par 40, et ainsi de suite), et modifiée de façon à donner une amplitude 300, une hauteur perçue 466 et une durée 20 s. (En fait les instants de déclenchement peuvent être indiqués sur une partition, mais ici on peut déclencher les cloches en cliquant sur les cartouches correspondants. Dans ce patch plf6, on peut aussi spécifier différentes fonctions enveloppes linéaires par morceaux (deux sont définies dans les cartouches commençant par "setdomain 512" : celle du haut est une simple attaque - décroissance donnant des sons du genre cloche, celle du bas comporte un maximum principal après une durée valant 16 % de la durée de chaque composante : ces maxima seront donc décalés dans le temps pour les diverses composantes, ce qui donne une structure fluide révélant l'arc-en-ciel de ces composantes. Les échantillons de chaque composante sont effectivement calculés par le patch comp_bell, où la sortie de l'oscillateur audiofréquence est multipliée par l'enveloppe.

Fig. 2. Patches MaxMSP utilisés pour produire en temps réel des variantes de structures inharmoniques

4 Mise en œuvre de filtres résonnants

Parmi les logiciels de traitement du son programmés au studio 123 du GRM, Benedict Mailliard et Yann Geslin avaient inclus un ensemble de filtres. Dans les années 80, Daniel Arfib avait ajouté à *MusicV* des modules de filtres résonnants, pouvant être assemblés en une batterie : Jean-Claude Risset en a tiré parti dans son œuvre *Attracteurs étranges*. Sur *MaxMSP*, Adrian Freed a réalisé un objet *reson~* à la fonction similaire. La mise en œuvre effectuée par Daniel Arfib permet de contrôler en temps réel plus de 200 filtres agissant sur un son stéréophonique. Pour la seconde section de *Resonant Soundscapes*, une demi-douzaine d' "accords" de filtrage ont été choisis, chacun correspondant à un ensemble de 5 à 15 filtres accordés à une harmonie spécifique. Divers motifs, et notamment des motifs de clarinette, ont été colorés par ces filtres résonnants accordés.

5 Spatialisation : de *Resonant Soundscapes* à *Resonant Sound Spaces*

La spatialisation a exploité directement les sessions du programme de mixage *ProTools*, donc avant réduction à 2 pistes. Elle a tiré parti des possibilités du logiciel *Holophon* de définir des "macros" de spatialisation, par exemple des mouvements suivant des cercles ou des spirales, des courbes de Lissajous, des mouvements browniens, des groupes de translation, rotation, symétrie : cela facilite l'extension de techniques d'écriture au contrôle de la localisation et du mouvement du son. Les caractéristiques de spatialisation choisies ont été esquissées dans le paragraphe 2 : différentes pour chaque section, elles tiennent compte de la nature du matériau et du propos compositionnel.

6 Conclusion

Cette communication en donne un exemple : l'informatique facilite le "portage" des recettes sonores sur divers logiciels et le cumul de traitements sonores successifs en plusieurs étapes, à condition que chaque étape soit documentée et décrite de façon claire et complète.

Les boîtes à outils logicielles que sont des programmes tels que *MusicV* ou *MaxMSP* proposent un environnement *réticulé* qui favorise une véritable *économie d'échanges* (Battier, 1992) concernant le savoir-faire sur la synthèse et le traitement du son musical. On peut ainsi recourir à des données anciennes, développées sur des programmes de synthèse en temps différé, et les mettre en œuvre en temps réel en vue de faciliter la réalisation d'une œuvre sur support par une interaction plus efficace ou d'interpréter sur scène une œuvre initialement produite en temps différé (comme l'a fait Daniel Arfib avec son œuvre *Le souffle du doux*, réalisée avec *MusicV* en 1981 et reprise pour pouvoir être conduite par des gestes "live" en 2000).

L'usage des éléments de mixage intervenant dans un logiciel de montage tel que *ProTools* ou *CuBase* préserve une richesse de détails qui serait perdue dans une réduction 2 pistes : cela permet une spatialisation élaborée, et un logiciel comme *Holophon*, avec ses possibilités de manipulation, étend à la dimension spatiale des contrôles de type compositionnel.

Bibliographie

Arfib, D., & Kessous, L. (2000). "From Music V to creative gesture in computer music", *Proceedings of the VIIth SBC Conference*, Curitiba, Brasil, June 2000 (CD-ROM).

Arfib, D., & Kessous, L. (2002). "Gestural control of sound synthesis and processing algorithms", in Wachsmuth, I. & Sowa, T., *Gesture Workshop 2001, Lecture Notes in Artificial Intelligence # 2298*, ed : Springer Verlag, à paraître en 2002.

Arfib, D., Keiler, F., Zoelzer, U. (2002). "Time-frequency processing" & "Source-Filter processing". In *DAFX: Digital Audio Effects* (Zoelzer, U., ed.), Wiley and sons, 237-292 & 293-361.

Battier, M. (1992). "Sculpter la transparence". In *Les cahiers de l'IRCAM*; vol. 1, Composition et environnements informatiques, Paris, 57-75.

Boulangier, R. (ed) (2000). *The Csound Book – Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Dodge, C., Jerse, T.A. (1985). *Computer Music: Synthesis, Composition, and Performance*. New York: Schirmer Books.

Lorrain, D. (1980). *Analyse de la bande magnétique de l'oeuvre de Jean-Claude Risset "Inharmonique"*. Paris : Centre Georges Pompidou (Rapport IRCAM n° 26/80).

Mathews, Max V. et al. (1969). *The Technology of Computer Music*. Cambridge: The M.I.T. Press.

Pottier, L. (1998). "Dynamical spatialization of sound. HOLOPHON : graphic and algorithmic editor for Sigma1". *Proceedings of DAFx98*, Barcelona.

Risset, J.C. (1969). *An introductory catalog of computer-synthesized sounds*. Reprinted with C.D. Wergo 2033-2, *The historical CD of digital sound synthesis* (1995), 88-254.

Risset, J.-C. (1989). "Additive Synthesis of Inharmonic Tones". In: Mathews, M. V.; Pierce, J. R. (eds.) (1989), *Current Directions in Computer Music Research*. Cambridge: The MIT Press, 159-163.

Vercoe, B. (1986). *CSOUND: A Manual for the Audio Processing System and Supporting*

Programs. Cambridge MA: MIT Media Laboratory.

Zicarelli, D. & al. (2001). *MSP: Reference*. Cycling '74.