

UNE APPROCHE ÉLECTROACOUSTIQUE DES PAVAGES RYTHMIQUES À PARTIR DES CANONS D'ENTRÉES RÉGULIÈRES

Matías Rosales

Doctorant à l'Université de
Strasbourg et à la HEAR
Mcfernandezr13@gmail.com

RÉSUMÉ

L'article présente une nouvelle solution algorithmique pour générer des pavages rythmiques à partir d'un processus canonique. Il s'agit d'une technique de construction de canons rythmiques mosaïques avec des entrées régulières, que j'ai déjà utilisée dans mes dernières compositions instrumentales. L'article suggère également une nouvelle utilisation de cette technique appliquée à la musique électroacoustique, inspirée des concepts développés par Horacio Vaggione tels que le micro-temps et la décorrélation spatiale et qui pourra être utilisée dans des futurs projets compositionnels autour des musiques électroniques et mixtes. Bien que les pavages rythmiques par des canons d'entrées régulières soient des modèles nés de la musique instrumentale, ils peuvent en effet également être utilisés pour composer de la musique électroacoustique et cela grâce à l'influence des conceptualisations élaborées par Horacio Vaggione.

1. INTRODUCTION

L'utilisation de modèles mathématiques en composition musicale permet d'aborder le processus créatif en amont de sa représentation graphique ou sonore. Ainsi, des concepts formels peuvent être établis à l'avance, ce qui permet au compositeur d'avoir une structure solide pour guider la création musicale tout en ouvrant de nouvelles perspectives théoriques.

Dans mon cas, les modèles m'aident à créer des textures polyphoniques, avec leurs propres contraintes, directions évolutives, et leurs dégradations. Dans cet état de l'art, des concepts éloignés de la réalité musicale peuvent être appliqués de différentes manières selon la réalité matérielle. Par exemple, on peut les appliquer à un orchestre symphonique, ou à un ensemble de chambre, à un instrument soliste, ou bien à un dispositif électronique. Dans chaque cas le compositeur

décidera comment mettre en œuvre les résultats dans un contexte musical, avec différents degrés de flexibilité et d'échelles temporelles. À partir d'un même modèle mathématique, nous pouvons générer des résultats musicaux extrêmement divers, en gardant toujours des caractéristiques communes basées sur leurs fortes relations logiques.

L'article se compose de trois parties : la première explique le pavage rythmique à partir des canons ayant des entrées régulières, à travers l'implémentation personnelle que j'ai développée avec Moreno Andreatta pour générer des canons mosaïques en OpenMusic ; la deuxième partie discute le modèle de pavage rythmique à partir des canons d'entrées régulières dans une perspective compositionnelle ; la troisième et dernière partie propose une application des canons mosaïques ayant des entrées régulières dans le domaine de la musique électroacoustique et en relation étroite avec des concepts développés par Horacio Vaggione.

2. CANONS MOSAÏQUES

L'idée d'utiliser des canons rythmiques basés sur des entrées régulières des voix remonte à Oliver Messiaen qui avait essayé de créer une mosaïque rythmique à partir de motifs rythmiques obtenus par concaténation de rythmes non-rétrogradables. Avec la répétition de toutes les voix en canon, l'axe du temps est rempli progressivement à partir d'une unité temporelle minimale décidée par le compositeur avec la règle que deux unités temporelles n'existent jamais au même instant, générant ainsi une polyphonie continue où la perception d'un contrepoint fragmenté devient une mélodie unique. Comme l'affirme Messiaen dans un passage repris dans l'ouvrage *Traité de Rythme, de Couleur et d'Ornithologie* : « Il résulte de tout cela que les différentes sonorités se mélangent ou s'opposent de manières très diverses, jamais au même moment ni au même endroit comme cela se passe dans un vrai carillon. C'est du désordre organisé » [1].

Bien qu'Olivier Messiaen n'ait pas été en mesure de formaliser et résoudre ce problème à l'aide d'outils mathématiques et informatiques, c'est la première fois dans l'histoire de la musique de tradition écrite que nous trouvons l'idée de générer des pavages de l'axe du temps à partir de répétitions d'un même rythme décalé dans le temps selon le principe du canon. Cette idée ouvre la porte à un nouvel usage des canons dans la création musicale qu'on appellera par la suite « canons rythmiques mosaïques » [2]. Historiquement, les canons avaient été construits à partir des relations harmoniques où le rythme était en arrière-plan. Cette nouvelle proposition ne concerne que le rythme et laisse un espace de liberté au compositeur qui peut ainsi adjoindre aux entrées des hauteurs définies, des bruits, des timbres, etc.

Prenant inspiration de la démarche de Messiaen, plusieurs types de canons rythmiques mosaïques ont été proposés, dont les canons de Vuza qui représentent l'une des constructions les plus utilisées en musique contemporaine [3]. Ces canons ont été utilisés par des compositeurs tels Fabien Lévy, Georges Bloch, Mauro Lanza, Daniele Ghisi.

Dans sa recherche autour des modes ou des gammes musicales à transpositions limitées, Olivier Messiaen a conçu une série de techniques combinatoires qu'il a en quelque sorte tenté de transposer au domaine rythmique.

Bien qu'Oliver Messiaen n'ait pas réussi à développer cette technique de façon précise, d'une certaine manière, il y a une homologie entre l'intuition de Messiaen dans le domaine des pavages rythmiques et la relation entre la synthèse granulaire et le *concret PH* de Xenakis [4]. Grâce à son approche mathématique novatrice et à l'utilisation de techniques du studio de la musique concrète, Xenakis a anticipé l'émergence d'un nouveau type de synthèse sonore ainsi qu'une logique morphologique du son. De la même manière, Messiaen a ouvert la voie à une nouvelle morphologie des textures temporelles tout en introduisant une nouvelle conception du contrepoint.

3. IMPLEMENTATION DANS OPENMUSIC.

L'algorithme à été développé à partir des objets natifs d'OpenMusic [5] et par des objets codés par l'équipe Représentations musicales [6] qu'on trouve dans la bibliothèque MathTools d'OpenMusic. Mon objectif était de parvenir à modéliser en OpenMusic la classe des canons rythmiques mosaïques à la base de l'intuition d'Olivier Messiaen. Le modèle de ce contrepoint rythmique me permettra de l'appliquer à des cas simples, comme à des canons longs avec un grand nombre de voix ; et par ailleurs de proposer un nouveau type de canon qui n'avait pas fait l'objet d'une étude computationnelle systématique en OpenMusic.

La conceptualisation de ce modèle a été faite à partir d'une petite mosaïque rythmique calculée à la main, ce qui a permis de construire l'algorithme pour pouvoir générer ensuite des relations plus difficiles à obtenir manuellement.

Pour générer une mosaïque ayant des entrées régulières, nous devons fournir le nombre des pulsations individuelles que chaque canon aura, ainsi que le nombre de voix. La mise en œuvre doit principalement tenir compte du nombre de pulsations par voix et du nombre de voix.

Le nombre des voix va générer le motif rythmique de la manière suivante : le nombre de pulsations sera converti en une liste entre zéro et la valeur indiquée moins un ; cette liste sera permutée grâce à l'objet `permut-random`, qui nous donnera toutes les possibilités de motifs rythmiques que nous pouvons utiliser pour faire une mosaïque rythmique par canon d'entrées régulières quel que soit le nombre des voix, à partir de deux.

À l'aide d'une abstraction itérative, la liste permutée sera traitée de manière à redistribuer ses éléments dans un cercle en fonction d'un module. Ce module correspondra au nombre d'éléments contenus dans la liste.

Prenons l'exemple d'une liste permutée (2 1 0 4 3) générée à partir d'une liste de cinq éléments débutant à zéro. Pour redistribuer cette liste dans l'espace circulaire, nous devons la considérer comme une séquence ascendante de points. Ainsi, cette liste sera réorganisée en (2 6 10 14 18) en fonction du module correspondant au nombre d'éléments de la liste initiale, dans ce cas module cinq. Ceci permettra de réorganiser la liste de manière circulaire selon un certain module.

L'algorithme crée des pavages rythmiques avec des entrées régulières, même lorsque les figures rythmiques sont irrégulières, comme dans le cas d'un pentagone. Ainsi, l'algorithme transforme des entrées rythmiques irrégulières en une texture rythmique régulière en subdivisant les temps en sous-divisions égales. Cela permet de créer des textures rythmiques complexes tout en maintenant une régularité dans les subdivisions temporelles.

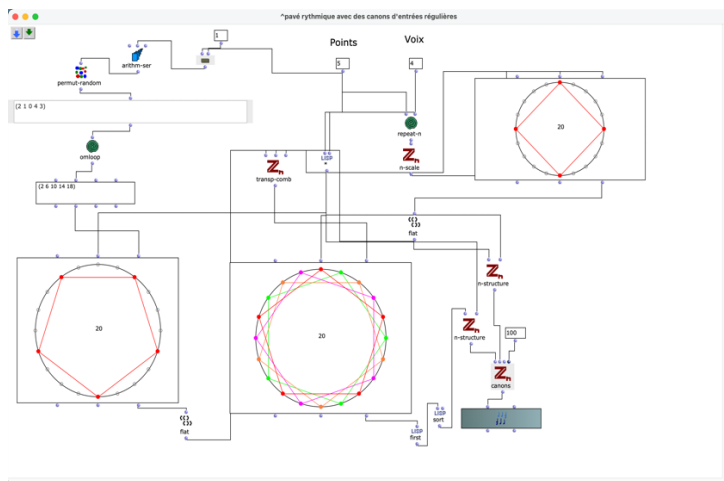


Figure 1. Algorithme pour représenter les canons mosaïques avec des entrées régulières.

Par la suite l'objet `n-structures` construira la structure intervallique d'un sous-ensemble donné du groupe cyclique à partir de la liste et de la multiplication entre la liste et le numéro de voix. Cette multiplication nous donnera la durée totale de notre pavage à partir de la première entrée de la première pulsation de la première voix, et ce jusqu'à la fin de la dernière pulsation du canon.

Finalement l'objet `canons` traduira les informations données à partir de notre motif numérique, en durées de temps. Le nombre de voix donnera les informations nécessaires pour indiquer l'entrée temporelle de chaque voix. L'objet `canons` a également un autre facteur externe à l'ensemble du processus décrit, qui sera très utile pour notre recherche vers une musique micro-temporelle.

L'entrée optionnelle de l'objet `canons` permet de choisir l'unité minimale de notre mosaïque rythmique, permettant de travailler des infimes morceaux de mosaïque à la taille de la durée souhaitée où la milliseconde sera l'unité minimale.

Prenons maintenant un autre exemple de construction d'un canon rythmique mosaïque, cette fois à trois voix, chaque voix ayant quatre pulsations. L'algorithme va construire un canon mosaïque à condition que toutes les voix rentrent de façon régulière sans jamais se chevaucher. Le cœur du programme a une composante aléatoire qui, à chaque évaluation, nous permettra de visualiser une nouvelle solution possible pour construire des canons avec quatre pulsations qui représenteront les possibilités limitées par les valeurs d'entrée. Si nous avons quatre pulsations et trois voix, on aura une mosaïque composée de douze unités et quand la troisième voix du contrepoint entre, ou même parfois avant, on arrive à remplir tous les espaces rythmiques comme Messiaen le souhaitait.

Les objets de la bibliothèque `MathTools` permettent également de visualiser géométriquement le motif rythmique à l'aide d'une représentation circulaire ainsi que la mosaïque complète et l'entrée de chaque voix (figure 1, de gauche à droite).

Dans la figure 2 la mosaïque a été répétée 3 fois, pour mieux visualiser le pavage rythmique, tandis que les hauteurs ne sont pas importantes dans cet exemple. La ligne pointillée sur la grille temporelle indique à partir de quel instant la mosaïque est réalisée.



Figure 2. Canon rythmique mosaïque à partir de trois voix qui rentrent de façon régulière.

La figure 3 montre le résultat du même algorithme mais appliqué à des mosaïques beaucoup plus complexes et longues. Dans ce cas on obtient un canon rythmique mosaïque à 12 voix, chaque voix ayant 28 points d'attaque. Un traitement micro-temporel nous permet d'utiliser des petites pièces de mosaïque, qui à cause de leur courte durée, auront une quantité très dense de pulsations par secondes qui génèreront un continuum dans l'espace temporel, une sorte de micro mosaïque, à l'échelle de cinq-millisecondes.

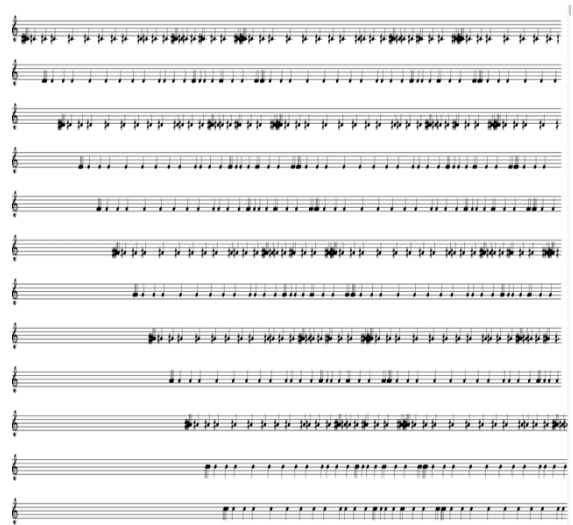


Figure 3. Canon rythmique mosaïque à partir de trois voix qui rentrent de façon régulière.

4. CANONS AVEC DES ENTREES REGULIERES ET COMPOSITION MUSICALE.

Le modèle mathématique est un outil pour aider à la création, sur lequel les décisions arbitraires font en effet partie du processus de création. Avant que le résultat numérique ne soit traduit en représentation musicale, on doit pouvoir se permettre de sculpter la matière, de l'infime détail au changement complet de la structure d'origine. La relation avec laquelle Horacio Vaggione aborde l'usage de l'informatique est pertinente en ce sens. « Vaggione pose en fait la question de la formalisation : l'interaction entre écriture directe et calcul algorithmique est synonyme d'interaction entre formalisation et artisanat. Il n'y a donc pas opposition (ou dialectique) entre deux concepts antagonistes, mais complémentarité, qui se fructifie par leur interaction. » [7].

La créativité joue un rôle au moment de l'élaboration de l'algorithme, elle aussi nous permet d'élaborer d'autres algorithmes de manière novatrice afin de concevoir des contradictions et des ruptures

avec le modèle original. Par exemple notre mosaïque en tant que structure complexe stable et rigide pourrait être dégradée à cause du temps qui passe, car d'autres facteurs et paramètres provoquent sa propre destruction.

La figure 4 est le résultat d'un algorithme construit pour détériorer le modèle original, basé sur un simple modèle d'étirement audio. Imaginons de faire un enregistrement audio de cette mosaïque et de changer progressivement la vitesse de reproduction du fichier avec un étirement dynamique de la bande magnétique. Cette opération modifiera le rythme et les hauteurs progressivement ; l'harmonie initiale est basée sur les moyennes partielles d'un spectre inharmonique, générée aussi avec OpenMusic. En conséquence de l'étirement dynamique de notre bande magnétique virtuelle, l'harmonie-timbre sera progressivement modifiée en ce qui concerne les hauteurs.

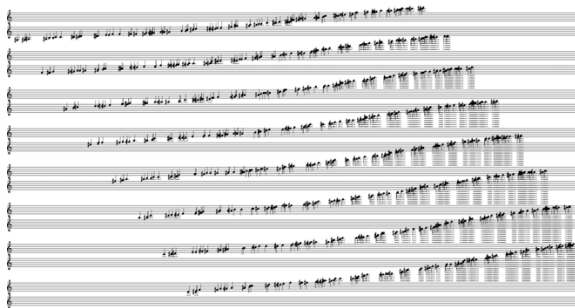


Figure 4. Distorsion du pavage.

Puisque le traitement rythmique dans ma musique a toujours été basé sur l'instabilité rythmique, liée au swing, aux contre-temps et à l'illusion d'une quasi-régularité, j'ai dû réfléchir pour incorporer un élément rythmiquement isométrique à mes propres compositions. Ainsi, le contraste engendré par les mosaïques rythmiques avec les textures de contretemps me permet de créer des situations contrastées de manière efficace, allant d'un moment rythmiquement souple à une mosaïque solide : un contrepoint sans temps forts et où la répétition de subdivisions régulières est évitée, en opposition à une solide entrée d'un canon à trois voix qui sera orchestré petit à petit par l'ensemble entier. Plus tard, les voix se rejoindront pour conclure la pièce avec une homorythmie puissante, représentée par un pavage constitué d'une seule voix [8]. Ou encore, une autre solution possible pour générer des tensions est de superposer un pavage rythmique à un tissu rythmique et harmonique différent. [9].

5. VERS UNE PROPOSITION ELECTRONIQUE DE PAVAGES RYTHMIQUES PAR DES CANONS D'ENTREES REGULIERES.

Bien qu'il existe des compositeurs qui ont utilisé des mosaïques rythmiques pour composer de la musique électronique, le modèle de référence a été

principalement celui basé sur les canons de Vuza. Contrairement aux canons décrits dans cet article, ceux-ci génèrent des mosaïques à partir des entrées irrégulières. Plusieurs utilisations des canons de Vuza sont décrites, par exemple, par Fabien Levy [10]. Par ailleurs, nous ne trouvons pas de canons d'entrées régulières interprétés d'une façon électronique dans le répertoire musical.

Sans avoir l'intention de chercher une interprétation dogmatique de ses écrits, j'ai essayé d'utiliser des concepts développés par Horacio Vaggione pour créer un système numérique entre différents logiciels me permettant de générer de la musique électronique dans le cadre de mes nouvelles pièces de musique mixte.

Une première approche multi-temporelle et micro-temporelle aux pavages rythmiques permettra d'obtenir des mosaïques avec différents niveaux de temporalités ou de profondeurs [11]. On pourrait s'imaginer de complexes superpositions de mosaïques aux temporalités différentes ; nous pouvons superposer de grandes mosaïques avec des unités minimales très longues et des petites mosaïques faites par des unités grandes et toujours sans chevauchements. Les résultats auront une dimensionnalité plus complexe que la proposition initiale du modèle, qui se déroule dans une seule dimension temporelle.

Cela serait semblable aux pavages hyperboliques d'Escher [12], où la continuité de la mosaïque est construite par des morceaux de tailles variables.



Figure 5. Anges et démons de M.C. Escher

Les canons mosaïques ont été conçus à partir d'une problématique de la musique instrumentale et n'ont été théorisés d'un point de vue mathématique que successivement. Pour cette raison, la plupart des exemples historiques font usage d'une temporalité qui reste liée à la musique instrumentale. Avec les musiciens, il est possible de créer une variété infinie de mosaïques, mais avec la limitation de la taille de notre pièce de mosaïque lié à la temporalité humaine.

chaque voix un fichier audio précis dans toute la collection des sons collectés. Puis, j'ai converti tous les signaux stéréo en mono pour après leur donner une nouvelle qualité spatiale.

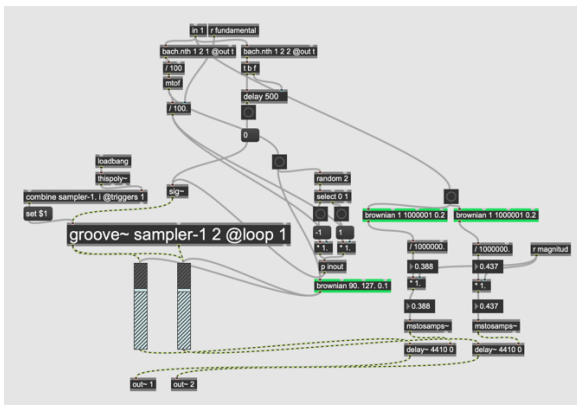


Figure 7. Une voix du synthétiseur basée sur l'objet Groove~.

6. DECORRELATION MICRO-TEMPORELLE DES PAVAGES RYTHMIQUES AVEC DES CANONS D'ENTREES REGULIERES

La décorrélation micro-temporelle est une technique permettant de créer une sensation d'espace et de localisation sonore en multipliant un son avec de légères variations de phase. Cette technique nous permettra d'interagir avec la perception humaine, étant donné que le seuil de perception de la micro-relation en tant qu'espace sonore plutôt que séquences des sons estimés entre 5 µsec et 1,5 millisecondes [16]. Cette méthode permet donc de créer un espace sonore plus complexe et réaliste, en utilisant des variations microscopiques de phase pour donner l'impression d'une localisation spatiale plus précise.

En tant que compositeur, Horacio Vaggione accorde une importance particulière à l'utilisation musicale de la décorrélation micro-temporelle. Il explore l'idée que des déphasages plus importants entre chaque haut-parleur (soit dans une décorrélation acoustique ou numérique) peuvent générer des sensations auditives différentes et plus riches du point de vue perceptif.

Dans notre cas je vais doubler chaque source sonore pour pouvoir écouter la décorrélation micro-temporelle en stéréo. Chaque canal aura des retards micro-temporels générés par l'objet `delay~` et contrôlés par deux mouvements browniens indépendants. Le temps de retard dans l'objet `delay~` peut être spécifié en échantillons et déterminé par la fréquence d'échantillonnage de notre réglage en Max-MSP. Pour pouvoir travailler avec des micros-déphasages en relation aux unités temporelles de fraction de seconde. Pour cela j'ai utilisé l'objet `mstosamps~` afin de convertir un nombre en millisecondes et contrôler ainsi un certain nombre d'échantillons en relation à la fréquence

d'échantillonnage actuelle de notre réglage audio en Max-Msp.

Comme dans les cas précédents, chaque note de notre interface `bach.roll` déclenchera une action dans le flux audio qui suivra. Ensuite, nous utiliserons un mouvement stochastique pour moduler le taux de micro-décalage, ce qui génèrera une décorrélation progressive et permettra de ressentir le mouvement continu de chaque particule sonore de manière indépendante.

Dans une texture musicale complexe telle que celle que nous avons créée ci-dessus, constituée d'un tissu de mosaïques rythmiques, la décorrélation micro-temporelle est une technique efficace. Étant donné que nous travaillons avec de nombreuses sources sonores qui ne sonnent pas simultanément, grâce aux contrastes internes des mosaïques rythmiques et aux entrées régulières, la décorrélation permet une meilleure distinction entre les différentes particules sonores et améliore la clarté de la texture globale.

L'utilisation de la technique de décorrélation micro-temporelle permet une meilleure distinction entre les différentes particules sonores. Cette technique est particulièrement intéressante dans les situations où plusieurs voix sont activées avec des valeurs de décorrélation différentes. En l'utilisant dans notre texture musicale complexe constituée d'un tissu de mosaïques rythmiques, nous sommes en mesure d'améliorer la clarté de la texture globale et de ressentir le mouvement continu de chaque particule sonore de manière indépendante. Comme Horacio Vaggione l'affirme clairement : « [...] les techniques de décorrélation micro-temporelle sont intéressantes pour la composition de musique électroacoustique quand elles sont utilisées dans une situation où il y a beaucoup de sources parallèles, où plusieurs canaux sont activés simultanément avec des valeurs de décorrélation différentes, engendrant un « tissu » morphologique complexe. » [16].

Enfin, la relation spatiale entre chaque haut-parleur ou casque de notre stéréophonie, grâce à la décorrélation micro-temporelle et au volume dynamique de chaque voix, génère un espace virtuel très dynamique, dans notre micro-mosaïque polyphonique

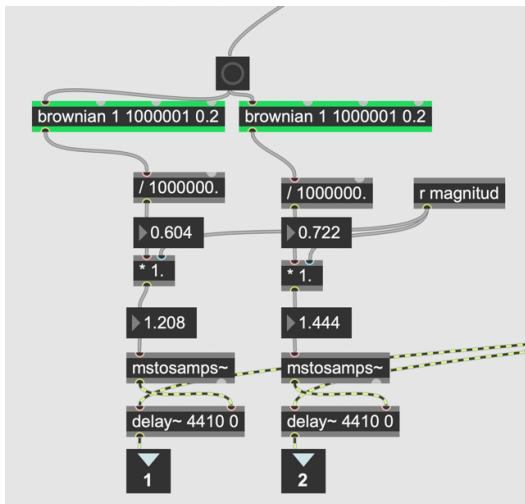


Figure 8. Décorrélation micro-temporelle stochastique

7. CONCLUSION

Un algorithme construit sur la base d'un modèle mathématique, en l'occurrence les mosaïques rythmiques par canons d'entrées régulières, peut générer des données structurales que nous pouvons appliquer à différents niveaux temporels. Un modèle pensé et créé à partir de la musique instrumentale peut aussi nous offrir un tissu morphologique électroacoustique complexe, en dépassant le seuil autour de la note, du macro-temps au micro-temps [17]. Cette expérience montre comment la modification de l'échelle temporelle d'un modèle musical peut mener à des résultats inattendus et intéressants. Les modèles musicaux peuvent être conçus pour résoudre des problèmes spécifiques à une échelle temporelle donnée, mais en les modifiant, on peut parfois découvrir de nouvelles façons de les utiliser et de nouvelles dimensions à explorer. Cela souligne l'importance de la flexibilité et de l'expérimentation dans la création musicale et dans l'élaboration des algorithmes, ainsi que la nécessité de rester ouvert aux résultats imprévus et aux nouvelles idées qui peuvent surgir de ces expériences.

L'approche algorithmique-compositionnelle de Horacio Vaggione m'a permis de repenser l'espace sonore en tant que partie intégrante de la morphologie sonore elle-même, plutôt que comme un traitement externe, comme on le pense actuellement, la plupart du temps. Cette réorientation a ouvert de nouvelles voies de recherche pour moi, en explorant la spatialisation, la diffusion de l'électronique et l'émission sonore par les instruments acoustiques et modulaires, tout en cherchant à créer des expériences auditives uniques et personnelles.

La figure 9 représente le processus final que j'effectue et dans lequel la première mosaïque sera construite à partir d'un canon à 16 voix, chaque voix ayant 60 attaques, avec une subdivision de l'unité

minimale de 5 millisecondes. Les fréquences données seront construites à partir d'un spectre harmonique légèrement dilaté, ayant comme fondamentale la fréquence de 65,40639 Hz. Cette mosaïque sera synthétisée par le patch basé sur Click~. La mosaïque a été répétée 15 fois

Parallèlement, une autre mosaïque a été construite avec un canon à 16 voix, chaque voix ayant 56 attaques, avec une subdivision de l'unité minimale de 7 millisecondes. Les fréquences données seront construites à partir d'un spectre harmonique légèrement compressé, ayant la fréquence de 92,498604 Hz comme fondamentale. Cette mosaïque sera synthétisée par le patch basé sur Groove~. La mosaïque a été répétée 9 fois.

Les nombres 5 et 7 ont été choisis en tant que nombres premiers pour représenter les tailles des pièces de mosaïque dans le but de minimiser les moments où deux sons sont présents simultanément. Ainsi, en répétant la mosaïque construite à partir de pièces de 5 millisecondes 7 fois, il y aura une synchronisation des motifs rythmiques. De même, la voix construite à partir de pièces de 7 millisecondes sera répétée 5 fois jusqu'à la synchronisation, qui correspond au plus petit multiple commun de 5 et 7.

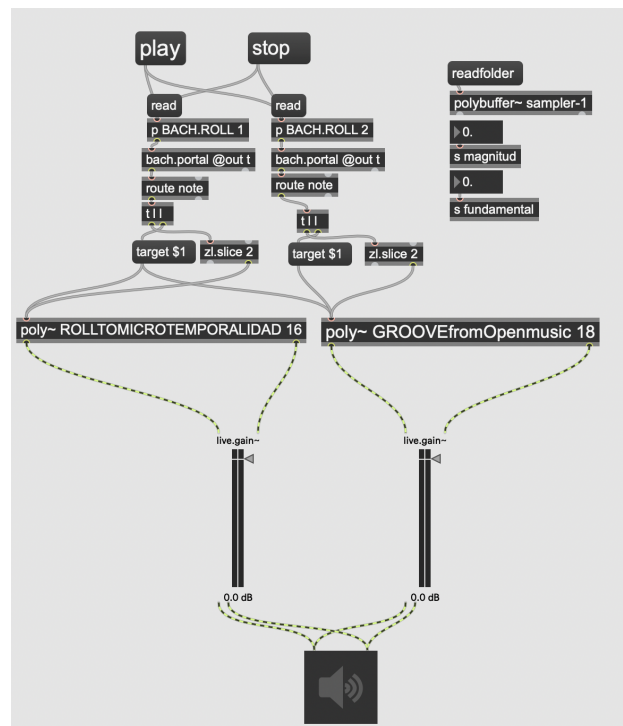


Figure 9. Réalisation électroacoustique finale de deux pavages rythmiques micro-temporels à partir des canons d'entrées régulières.

Dans cet exemple, je n'ai pas utilisé de dilatation ou de compression temporelle sur les pavages rythmiques issus de canons, afin de pouvoir percevoir un résultat plus clair avec l'algorithme.

Le matériau sonore de cette mise en œuvre électronique des mosaïques rythmiques par des canons

d'entrées régulières représente le résultat souhaité et sera un outil précieux pour la création de mes prochaines œuvres de musique mixte. Il me permettra également de superposer des canons avec des micro-temporalités différentes, dans lesquelles aucun événement ne sonnera simultanément avec un autre. Cette technique offre une riche variété de possibilités pour l'exploration des textures sonores et des structures rythmiques.

L'utilisation de petites pièces de mosaïque crée une texture sonore continue, car la mosaïque a été conçue pour occuper l'espace temporel de la manière la plus fine possible. Les sources sonores initiales sont toutes des bruits provenant d'impulsions électriques ou d'enregistrements sonores, donnant ainsi une qualité bruitiste à la texture. Grâce à leurs divisions temporelles distinctes, chaque pavage rythmique peut être aisément identifié et différencié de l'autre.

Bien que la texture soit bruitée et chaotique, nous pouvons apprécier les mouvements spatiaux et fréquentiels répétitifs. La force des répétitions des voix du canon permet d'instaurer un certain ordre dans cette texture chaotique, même si les variables spatiales et dynamiques sont constamment en mouvement.

8. LIENS

Voici les liens permettant d'écouter un exemple sonore et avoir accès aux patches OpenMusic et Max/MSP.

Exemple sonore :

https://soundcloud.com/matias-fernandez-rosales/deux-pavages-rythmiques-microtemporelles-a-partir-des-canons-dentrees-regulieres/s-QPorzvAVPlj?si=760ff6ed2a7d491f88228d578d177a6a&utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social_sharing

Patch OpenMusic :

<https://drive.google.com/file/d/1hSEdZfQ4VgUICsxhWba1jj3wiOlbcNiD/view?usp=sharing>

Patch Max/MSP :

<https://drive.google.com/file/d/1KwY8emDQAoxq981BthOb8-7xu1KBOLwU/view?usp=sharing>

9. RÉFÉRENCES

- Messiaen, O. *Traité de Rythme, de Couleur et d'Ornithologie*, Paris, 1995. Édition Musicales, p. 46.
- Andreatta, M. « De la conjecture de Minkowski aux canons rythmiques mosaïques », *L'Ouvert*, mars, p. 51-61, 2007.
- Andreatta, M., Agon C. et Vuza D. « Analyse et implémentation de certaines techniques compositionnelles chez Anatol Vieru », *Actes des Journées d'Informatiques Musicale*, Marseille, 2002.
- Xenakis, I, *Concret PH (œuvre musicale pour bande seule)* Salabert, 1958.
- OpenMusic <http://repmus.ircam.fr/openmusic/home>
- L'équipe Représentations musicales <https://www.ircam.fr/recherche/equipes-recherche/repmus>.
<https://openmusicproject.github.io/openmusic/download.html>.
- Solomos, M. Horacio Vaggione. 2021. fihal-03153991f. p. 5.
- Rosales, M. *Seeds* (œuvre musicale pour ensemble instrumental) Halle, 2022.
- Rosales, M. *Le Sable du Sahara* (œuvre musicale pour orchestre à vents) Strasbourg, 2021.
- Lévy, F. "Three Uses of Vuza Canons", *Perspectives of New Music*, Volume 49, N° 2 (Summer 2011), p.4.
- Solomos, M. *Espaces Composables, essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*. L'Harmattan, Paris, 2007.
- Escher, M. C. (1960). Angels and Devils - Circle Limit IV [Œuvre d'art visuel].
- Max/MSP <https://cycling74.com>
- Bach <https://www.bachproject.net>
- Brownian www.essl.at
- Vaggione, « H. *Décorrélation microtemporelle, morphologies et figurations spatiales.* » *Actes des Journées d'Informatiques Musicale*, Marseille, 2002, p. 9.
- Solomos, M. *Espaces Composables, essais sur la musique et la pensée musicale d'Horacio Vaggione*. L'Harmattan, Paris, 2007.