CONSTRUCTION 059, STREAMS OF KHRÓNOS POUR PIANO MIDI

Denis Lorrain
dlo@denislorrain.org

RÉSUMÉ

L'œuvre intitulée *Construction 059, Streams of Khrónos* (2019) est une composition pour piano MIDI basée sur des matériaux musicaux algorithmiques. Cet article décrit les deux algorithmes utilisés, les matériaux musicaux produits, ainsi que leur mise en œuvre. Exemples et illustrations graphiques viennent enrichir la réflexion. L'écoute de la pièce, qui concrétise finalement le propos, est possible au travers des liens suivants : denislorrain.org et soundcloud.com/user-205054622.

1. INTRODUCTION [1]

Comme certaines de mes *Constructions* précédentes, cette pièce est issue de deux idées principales, deux types de matériau musical, deux algorithmes concrets, remontant à des exemples pédagogiques issus de mon enseignement.

2. PREMIER ALGORITHME : MÉLODIES FRACTALES

2.1. Matériau source

Le premier algorithme est basé sur le changement d'échelle – compression ou expansion – d'un motif mélodique, par l'application d'un facteur multiplicatif à la taille des intervalles qui le constituent. Ce processus inclut aussi la possibilité d'incruster dans ce motif un nombre arbitraire de sous-niveaux fractals.

L'unique motif mélodique utilisé ici est une série dodécaphonique basée sur deux hexacordes omni-intervalles, comportant tous les intervalles inférieurs au triton – six demi-tons. Ces hexacordes sont définis dans le cadre du tempérament chromatique habituel de douze demi-tons par octave. Ils concilient les deux contraintes suivantes :

— disposer les six notes englobées dans une quarte – cinq demi-tons, par exemple *do–do* dièse*–ré–ré* dièse*–mi–fa* ;
— en les séparant d'un et un seul intervalle de chaque taille allant de un à cinq demi-tons – de seconde mineure à quarte –, soit ascendant, soit descendant.

Les deux hexacordes, choisis parmi les vingt-quatre possibles – algorithme de Vandenheede [2] –, obéissent à certaines contraintes. En particulier, la série ou motif dodécaphonique, qui est constituée en joignant les deux hexacordes par un triton (six demi-tons), doit présenter un intervalle de sixte mineure (huit demi-tons) ou de septième mineure (dix demi-tons) entre sa première et sa dernière note – une sixte mineure dans le cas présent [3]. Ce motif dodécaphonique, matériau principal de la pièce, est candidement exposé à la fin du premier mouvement, orchestré de ses harmoniques, à la manière de mixtures.

2.2. Exploitation d'une particularité remarquable

De tels hexacordes, et les séries dodécaphoniques que l'on peut en former, ne constituent pas une nouveauté et de nombreux compositeurs y ont eu précédemment recours. Cependant, l'application de certains changements d'échelle très particuliers permet de mettre en lumière et d'exploiter une potentialité imprévue d'une telle série : le fait que, sans niveau fractal supplémentaire, certaines expansions notables, évidemment arrondies aux plus proches demi-tons, produisent de nouvelles et différentes séries dodécaphoniques.

Dans le cas présent, les facteurs utilisables, qui n'étirent pas la série au-delà des limites du registre du piano, sont : 1,875 ; 2,125 ; 5 ; 7. Des facteurs supérieurs possèdent la même propriété, mais conduisent hors du registre : 9,875 ; 10,125 ; 11 ; etc. Cette caractéristique remarquable du motif ainsi expansé contribue très largement à l'élaboration de la pièce.

2.3. Mélodies fractales proprement dites

Également engendrées par ce premier algorithme, et à partir du même motif dodécaphonique, de nombreuses mélodies fractales apparaissent dans l'œuvre. Elles sont souvent fragmentées et la plupart du temps en contrepoint.

L'algorithme s'applique à partir d'un motif mélodique donné, représenté sous la forme d'une séquence d'intervalles – c'est-à-dire une liste des distances successives entre chaque couple de notes consécutives du motif. En tant que différence entre deux valeurs, un intervalle peut être positif ou négatif, selon son sens mélodique ascendant ou descendant. L'unité dans laquelle

---

[1] Cet article de Denis Lorrain aurait dû être présenté sous forme d'atelier dans le cadre des *Journées d'Informatique Musicale 2020*, mais a malheureusement été retiré du programme en raison du contexte sanitaire. Il fait néanmoins partie intégrante du présent volume. [N.D.E.]

[2] Voir section 5.3.

[3] Voir section 2.4.

sont exprimés les intervalles (Herz, demi-tons ou cents) n'a pas d'importance. Dans le cas présent, il s'agit évidemment de demi-tons.

On peut nommer déplacement mélodique l'intervalle séparant la note initiale de la note finale du motif. De manière équivalente, le déplacement mélodique peut être défini comme la somme de tous les intervalles de l'ensemble. Par extension, on pourrait dire qu'il s'agit de l'intégrale de la courbe mélodique. Le déplacement peut être négatif – descendant –, nul – motif revenant à sa note initiale –, ou positif – ascendant.

À l'intérieur de chaque intervalle du motif de départ donné, il est possible de reproduire l'intégralité du motif lui-même, mis à l'échelle appropriée par un facteur multiplicatif. Ce facteur est positif ou négatif, selon que l'intervalle dans lequel le motif doit être reproduit est de même sens – ascendant ou descendant – que le déplacement mélodique, ou de sens opposé. Ceci concrétise un premier sous-niveau fractal. Le même processus peut être appliqué récursivement pour incruster autant de sous-niveaux fractals que de besoin. Benoît Mandelbrot a fait usage de ce procédé, qu'il qualifie de « transformation géométrique très simple », pour modéliser des fluctuations boursières [2].

Une fois calculée abstraitement dans le domaine des nombres réels, la courbe fractale résultante peut être traduite musicalement sous forme mélodique, par une mise à l'échelle appropriée et, si nécessaire, en arrondissant aux degrés d'une échelle tempérée – ce qui est évidemment le cas ici.

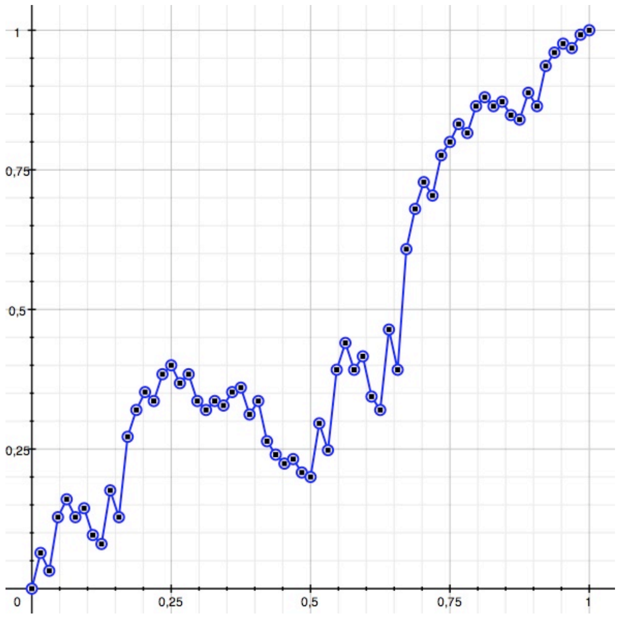

Figure 1. Exemple de fractalisation mélodique parfaitement apprivoisée, sans aucun débordement de l'ambitus du motif de départ.

2.4. Mélodies apprivoisées ou sauvages

Deux types de résultats peuvent être observés, selon une propriété des intervalles du motif de départ (figures 1 et 2).

Dans les cas du premier type, on peut arriver à un résultat fractal sans débordements, qui reste confiné à l'intérieur de l'ambitus du motif de départ (figure 1), ou se maintient dans des débordements relativement modérés. En suivant Mandelbrot, on peut qualifier ces comportements d'« apprivoisés ».

Dans les cas du second type, la fractalisation produit des débordements en progression géométrique d'un ou de plusieurs intervalles, très au-delà des limites de l'ambitus initial. La figure 2 illustre un enchaînement de tels débordements d'un des intervalles d'un motif, lorsqu'on lui incruste deux sous-niveaux fractals. Par opposition, ce type peut être qualifié de « sauvage ».

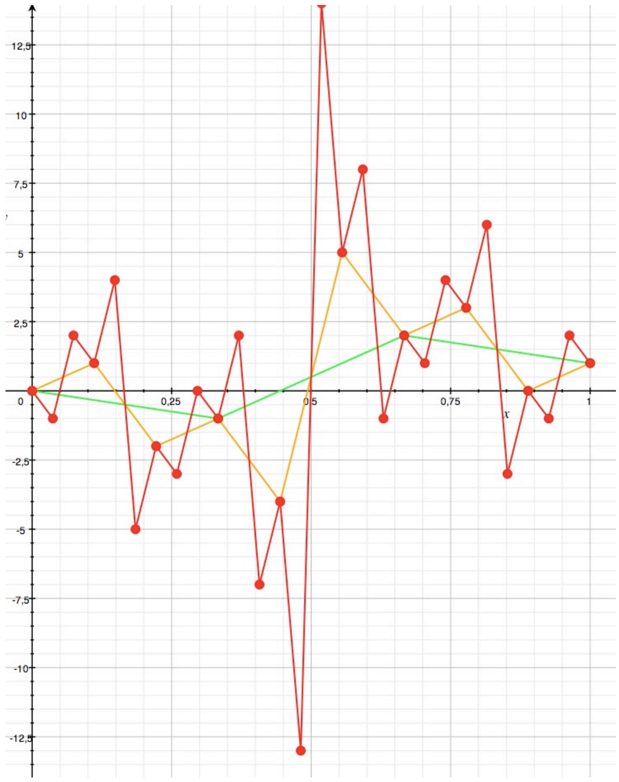

Figure 2. Exemple de fractalisation mélodique sauvage, avec débordements en progression géométrique, très audelà de l'ambitus du motif de départ.

Cette divergence de comportement à l'application du même algorithme s'explique par une propriété de l'ensemble des intervalles du motif de départ. Si la valeur absolue d'aucun-intervalle du motif n'est supérieure à la valeur absolue du déplacement mélodique, on a un résultat de type apprivoisé, sans débordements excessifs (figure 1, par exemple). Dès que la valeur absolue d'un intervalle du motif est supérieure à la valeur absolue du déplacement, il se produit des débordements de type sauvage de cet intervalle, en progression géométrique (figure 2) – ou de plusieurs le cas échéant. Dans ces derniers cas de débordements très prononcés, la raison de leur progression géométrique est égale au rapport des valeurs absolues du plus grand intervalle à celui du déplacement mélodique. De ce fait, l'algorithme ne peut pas s'appliquer à un motif de départ présentant un déplacement mélodique nul, afin d'éviter l'écueil de divisions par zéro.

Le motif dodécaphonique utilisé dans *Construction 059, Streams of Khrónos* est choisi de manière à rester sagement apprivoisé. En effet, son déplacement d'une sixte mineure (huit demi-tons) est plus grand que le triton (six demi-tons), qui est par définition son plus grand intervalle [4].

3. SECOND ALGORITHME : INTERPOLATIONS POLYRYTHMIQUES

La seconde source de matériau consiste en interpolations polyrythmiques. De nombreux exemples de tels processus sont présents dans la pièce, sur des accords dont l'articulation des notes constituantes évolue graduellement – de désordonnée à synchrone, c'est-à-dire de la polyrythmie à l'homorythmie, ou inversement.

3.1. Interpolation rythmique

Cet algorithme fonctionne grâce à la représentation des durées relatives des événements sous la forme de nombres rationnels, indépendamment des durées chronométriques ou des tempos concrets. Il s'agit de fractions de rondes, sur le modèle de la terminologie musicale anglo-saxone : ½ = blanche, ¼ = noire, etc.

Ces nombres rationnels expriment les rapports entre les durées séparant les points – attaques successives – du rythme dans le temps. Comme le montre la figure 3, un rythme de départ (en haut de la figure) et un rythme d'arrivée (en bas) sont donnés sous forme de listes de rationnels, ainsi qu'un nombre d'étapes d'interpolation à calculer – dix dans cet exemple.

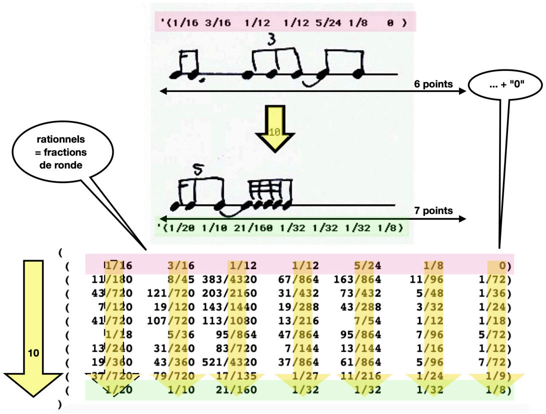

Figure 3. Exemple d'interpolation rythmique en dix étapes, à partir d'un rythme de départ (en haut de la figure) vers un rythme d'arrivée (en bas).

Dans le cas où l'un des deux rythmes comporte moins d'événements (points) que l'autre, une ou plusieurs durées nulles peuvent y être ajoutées. La figure 3 montre que le rythme de départ comporte six points, et qu'un zéro final y est ajouté pour créer un septième événement, de manière à rendre les deux rythmes compatibles, chacun comportant sept points.

[4] Voir section 2.1.

À partir de ces données, l'algorithme parcourt, pour chacun des événements, autant d'interpolations en parallèle, amenant graduellement chaque durée du rythme de départ vers chacune des durées respectives du rythme d'arrivée. Il s'agit en l'occurrence d'interpolations linéaires. Par convention, les rythmes de départ et d'arrivée sont inclus dans le nombre d'étapes. En enchaînant toutes les listes résultantes, la séquence de rationnels étant mesurée par rapport à un tempo concret , on réalise musicalement l'interpolation, c'est-à-dire la transformation graduelle du rythme de départ vers celui d'arrivée.

3.2. Polyrythmie

La dimension polyrythmique de l'algorithme est obtenue par le déroulement simultané, en parallèle, de plusieurs de ces processus d'interpolation. Plusieurs rythmes de départ sont donnés, qui convergeront tous pour se rejoindre sur un unique rythme d'arrivée (figure 4).

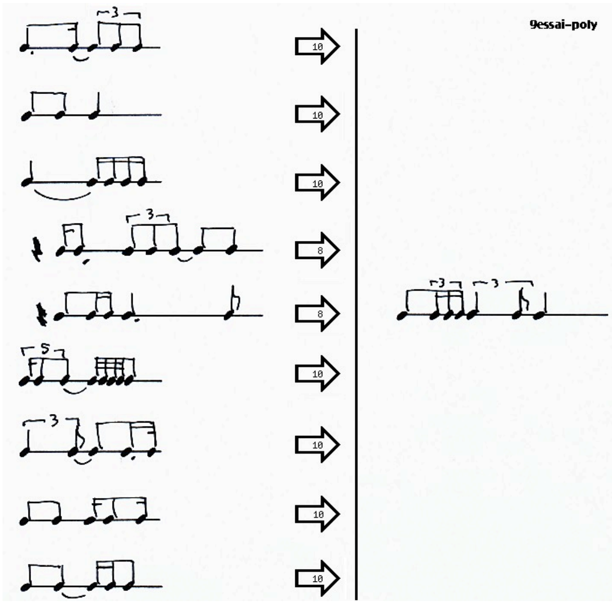

Figure 4. Interpolation polyrythmique de neuf rythmes de départ comportant des nombres variés d'événements, convergeant vers un unique rythme d'arrivée. Cet exemple théorique n'appartient pas à l'œuvre présentée ici.

Dans ce cas, le nombre exact d'étapes nécessaires et suffisantes pour chaque rythme de départ, ainsi que la chronologie des déclenchements respectifs des voix polyrythmiques, ne peuvent être aisément donnés de prime abord. On fournit donc à l'algorithme une durée minimale indicative, exprimée en nombre de rondes. Celui-ci organise de lui-même les déclenchements de chacun des rythmes de départ, ainsi que le nombre d'étapes nécessaires à chacun d'eux pour que l'ensemble polyrythmique converge graduellement vers une synchronisation homorythmique finale. Le tout s'inscrit dans une durée globale égale, ou minimalement supérieure, à la durée indicative demandée. L'attribution polyphonique d'une ou de plusieurs hauteurs aux différentes voix polyrythmiques est évidemment indépendante.

Tel qu'il a été programmé, cet algorithme est limité à la production de convergences rythmiques – exclusivement de la polyrythmie à l'homorythmie (figure 4). Au besoin, le déroulement inverse peut être obtenu par la rétrogradation. Réalisée à partir d'un résultat convergent intermédiaire, cette rétrogradation est alors divergente, allant de l'homorythmie vers la polyrythmie.

4. ÉCOUTE DE LA PIÈCE

L'écoute de l'œuvre entière permet de resituer la théorie et les exemples précédents dans l'intégralité de leur perspective musicale.

D'une durée totale de 14 minutes, la pièce comporte deux mouvements :

— A, d'une durée de 7' 52" [5] ;
— B, d'une durée de 6' 05" [6].

Bien que l'œuvre ait été créée en concert public [7], les enregistrements accessibles en ligne ont été réalisés avec un logiciel émulateur de piano [8].

5. INSPIRATIONS, CONTEXTES ET REMERCIEMENTS

S'agissant ici d'un travail de création, il n'y est pratiquement pas fait référence à de la littérature ou à de la documentation. Je tiens cependant à mentionner certaines sources d'inspiration, et à rendre justice aux contextes dans lesquels la conception et la réalisation de cette œuvre sont inscrites. Tout parcours est ainsi jalonné de rencontres et de circonstances qui font ce que nous sommes et façonnent ce que nous savons faire.

5.1. Bithématisme

L'idée de bithématisme, c'est-à-dire la conjugaison de deux idées ou de deux matériaux musicaux, dans une œuvre est loin d'être originale. En témoignent les innombrables compositeurs qui ont été inspirés par la fécondité éprouvée de ce procédé au cours des siècles, et particulièrement par la forme sonate. Ma référence à ce monument musical n'est rien de plus qu'une simple constatation.

5.2. Activités pédagogiques

L'enseignement que je mentionne en section 1 s'est essentiellement exercé au Conservatoire National Supérieur de Musique et Danse de Lyon [9] et à la *Hochschule für Musik Karlsruhe* [10] (Baden-Württemberg, Allemagne).

5.3. Hexacordes omni-intervalles

Il y a de nombreuses années, Jan Vandenheede m'a amicalement communiqué, à titre d'exemple de ce langage de programmation logique déclarative, un petit algorithme en Prolog qui construit élégamment les vingt-quatre hexacordes omni-intervalles possibles.

Je me suis intéressé de longue date à ce matériau musical. Deux de ces hexacordes fondent quasi totalement le contrôle des hauteurs de *Construction 059, Streams of Khrónos* [11].

De nombreux compositeurs ont mis en œuvre certains de ces hexacordes, en particulier Stockhausen dans son *Klavierstück IX*. La série dodécaphonique de cette pièce est constituée d'un de ces hexacordes, accolé à l'une de ses formes symétriques à intervalle de triton — respectivement les numéros 19 et 18 de l'algorithme de Vandenheede. Cette pièce de Stockhausen est surtout connue, par ailleurs, pour son recours formel à la série numérique de Fibonacci.

5.4. Mélodies fractales

L'algorithme fractal décrit dans cet article a été initialement conçu dans un contexte pédagogique, en lien avec un projet d'étudiant au CNSMD de Lyon en 1999 [12].

5.5. Déplacement mélodique

Pour les sections 2.3. et 2.4., je cherchais un terme désignant l'intervalle entre la note initiale et la note finale d'un motif mélodique. J'espérais qu'il existât une appellation reconnue, au même niveau de consensus que les termes registre ou ambitus, par exemple. J'ai donc cherché à combler mon ignorance en posant la question aux participants de la liste de diffusion musiSorbonne, consacrée aux sujets musicologiques et de théorie musicale.

À ma surprise, il semble qu'il n'existait pas de désignation reconnue. Une discussion très intéressante a été engagée, dont plusieurs contributions recourant aux notions de vecteur orienté et de bornes. Cependant, je préférais ne pas introduire explicitement des concepts supplémentaires, qui m'auraient éloigné de mon objet immédiat. En outre, je ne voulais désigner que la taille de cet intervalle – en valeur absolue, sans tenir compte de son sens ascendant ou descendant. Je cherchais donc un terme plus spécifique.

[5] Voir `soundcloud.com/user-205054622/construction-059-streams-of-khronos-movement-a`, accédé le 8/10/2020.

[6] Voir `soundcloud.com/user-205054622/construction-059-streams-of-khronos-movement-b`, accédé le 8/10/2020.

[7] *Hochschule für Musik Karlsruhe, Institut für Musikinformatik und Musikwissenschaft, IMWI Event*, 18/07/2019, piano Yamaha Disklavier.

[8] *Ivory II Grand Pianos*, Synthogy. Voir `www.synthogy.com/index.php/products/software-products/ivory-2-grand-pianos`, accédé le 08/10/2020.

[9] Voir `www.cnsmd-lyon.fr/`, accédé le 08/10/2020.

[10] Voir `www.hfm-karlsruhe.de/`, accédé le 08/10/2020.

[11] Voir section 2.1.

[12] Pour plus de précisions, voir notamment `denislorrain.org`, accédé le 13/10/2020 (rubrique « Pro-gramming in LISP », sous-rubrique « Course »). Les fonctions du fichier ped.13.suppl.lisp constituent l'essentiel de l'algorithme fractal décrit dans la section 2.

Caroline Traube a apporté la conclusion de la discussion, en suggérant l'appellation « déplacement mélodique », qui a recueilli un large assentiment. Cette expression englobe implicitement les notions vectorielles mentionnées ci-dessus et présente l'avantage d'être simple et parlante.

5.6. Interpolations polyrythmiques

J'ai programmé les différents algorithmes d'interpolation rythmique exposés dans la section 3 en vue de la réalisation d'un projet d'étudiants au CNSMD de Lyon, en 2006.

La mise en œuvre de ce processus, dans son contexte pédagogique, est plus complètement décrite dans ma contribution à l'ouvrage collectif *Le calcul de la musique, composition, modèles et outils* [1]. Pour ce qui concerne l'algorithme proprement dit, on se reportera en particulier aux pages 388 à 397.

6. RÉFÉRENCES

[1] Lorrain, D. « Interpolations », *Le calcul de la musique : composition, modèles et outils*, Pottier, L. (dir.). Publications de l'Université de Saint-Étienne, Saint-Étienne, 2009, p. 367-400.

[2] Mandelbrot, B. « Les fractales et la bourse », *Pour la science* 242 (1997), p. 16 *sq*.

Texte édité par Nathalie Hérold