Musique, informatique et composition numérique

Marcel Mesnage
Email : MarcelMesnage@compuserve.com

Pourquoi la musique?

L'activité artistique, dont la musique fait partie, est un type particulier de relations humaines dont les manifestations se situent dans un espace de liberté à caractère ludique, c'est-à-dire hors des nécessités vitales immédiates. Cette distanciation de la nécessité est la source d'un plaisir intellectuel et émotionnel qualifié d'esthétique. La primauté de l'intellectuel distingue l'art du sport qui est également ludique mais dont l'objet principal est une confrontation organique à des contraintes naturelles.

La liberté qu'autorise la distanciation de la nécessité dans l'art permet l'approbation aussi bien que la transgression des modèles que propose l'environnement naturel et social. Par exemple, l'art produit des objets ou des événements artificiels qui sont appréciés comme proches ou éloignés de modèles réels ou imaginaires et cette appréciation individuelle oscille entre la satisfaction et l'insatisfaction. Cette liberté est pourtant relative et sous influence : le caractère collectif de la relation artistique et le jeu de la mémoire des manifestations antérieures produisent un système de contagion des opinions [SPERBER] et une évolution globale des préférences. Dans le cas de la musique par exemple, il est manifeste que le succès des environnements technologiques tend à favoriser les nouveaux sons de synthèse tout en suscitant des réactions compensatrices de défense des instruments acoustiques. C'est une heureuse situation car il n'y a pas de vérité esthétique en la matière, mais une pluralité de choix possibles qui s'affrontent et évoluent par sélection naturelle, pour la bonne santé de rencontres comme la nôtre. Les difficultés sont plus grandes lorsque de nouvelles possibilités entraînent une remise en question des pratiques installées. L'expérience dont je vais parler, bien qu'esthétiquement modeste, se trouve être dans ce cas, à mon corps défendant, parce qu'elle interroge, après d'autres, sur le rôle de la notation musicale classique dans la composition de la musique contemporaine, cette fois en donnant des exemples explicites de "comment s'en débarrasser". La démonstration est probablement plus difficile à faire dans le cas de l'interprétation, mais la lecture directe de diagrammes du type rouleaux de piano ne paraît pas insurmontable.

Rôle de la théorie

L'évolution de l'art s'est accompagnée d'une théorisation de ses processus et de ses objets qui est vite devenue une activité douée d'une certaine autonomie, avec un effet rétroactif sur la production artistique, notamment par son rôle dans la pédagogie. Dans le domaine musical, un aspect majeur de la théorisation a longtemps été la prédominance d'une structure heptatonique des hauteurs et la création d'une notation spécifique qui en porte trace. Cette situation a fortement influencé la musique occidentale. La structure heptatonique est elle-même un compromis entre la primauté des premiers intervalles harmoniques, (octave, quinte et tierce), les plus faciles à

énoncer et à reconnaître, et leur transgression par une combinatoire abstraite qui ne cessera de s'étendre jusqu'au dodécaphonisme. Cette primauté harmonique exercera longtemps sa domination, même sur l'organisation temporelle des sons, à travers l'omniprésence de la cadence, sans jamais aboutir à un modèle rythmique général. Sur le plan de la contagion des idées, il faut noter que les formalisations mathématiques, longtemps dominées par la physique, se sont appliquée assez facilement aux échelles de hauteurs, alors que les notions de la dynamique n'ont guère trouvé de correspondance musicale. Si un codage s'est imposé, c'est celui du résultat de la composition, et non de son processus, si l'on excepte des tentatives partielles comme le chiffrage harmonique et les grilles du jazz.

En résumé, la théorie musicale est longtemps restée partielle et peu formalisée, de l'ordre des règles pragmatiques plutôt que d'une construction systématique et intégrée. Il n'empêche qu'une curieuse convergence a fini par advenir entre d'une part l'évolution musicale qui passe par le tempérament égal pour aboutir au dodécaphonisme et d'autre part l'évolution des notions mathématiques qui s'affranchissent de la physique pour aboutir via la théorie des ensembles aux mathématiques des sciences sociales et aux grammaires formelles. Cette convergence rend possible une description formelle du processus de composition en termes raisonnablement universels, mais au prix, assez lourd en pratique, et encore difficilement acceptable, d'un changement de langage pour les musiciens. En gros, il s'agit de passer de la note au nombre.

L'intégration informatique

L'irruption de l'informatique est une révolution historique parce que, pour la première fois, une machine intègre dans de nombreux domaines des traitements de l'environnement matériel et de ses représentations, ainsi que les interactions associées. Même si la distance par rapport aux facultés humaines reste considérable, cette dimension d'intégration est sans précédent et reste l'objet de réticences. Dans le domaine musical, l'ordinateur permet de produire des sons, il permet de composer des équivalents de partitions, et il permet de construire ou de commander des automates capables de jouer les partitions. Cependant, l'histoire récente montre que s'il ne manque pas d'exemples d'utilisation de l'une ou l'autre de ces possibilités, peu de musiciens acceptent de combiner l'ensemble. Les réticences esthétiques, telles que besoin d'interaction avec les instruments acoustiques et les interprètes, ou exigence de liberté d'écriture, sont les raisons les plus couramment invoquées. Bien que ces réticences soient tout à fait légitimes, il paraît intéressant de tenter l'aventure pour mieux comprendre ses limites et ses conditions. C'est une telle expérience d'informatisation complète que je présenterai ici. Entreprise depuis environ deux ans, elle couvre actuellement la réalisation de près de trois cent pièces dont un exemple sera donné.

Composition avec des suites numériques

De nombreuses démarches de composition numérique sont possibles selon les outils mis en œuvre et les penchants individuels. Les expériences de modélisation de pièces du répertoire menées avec André Riotte (de Bach à Messiaen, en passant par Schubert, Stravinsky et Bartok), ainsi que l'expérience de réalisation de logiciels d'aide à l'analyse et à la composition m'ont fourni des exemples significatifs et ont contribué à fixer les choix suivants :

• abandonner délibérément la notation traditionnelle comme matériau de composition, au profit d'entités mathématiques traduites directement dans un langage de programmation (Common Lisp)

• s'en tenir à un système de production de sons très simple, en l'occurrence Général MIDI, éventuellement augmenté d'un logiciel de traitement vocal du texte (Vocal Writer)
• exclure l'usage de variables aléatoires au profit exclusif de fonctions déterministes (il s'agit d'un parti pris ludique et non d'une position de principe)
• me donner un schéma formel de construction fondé sur une structure fonctionnelle des séquences musicales
• privilégier les suites numériques comme matériau principal de ce schéma.

Les aspects informatiques d'une telle expérience sont particulièrement simples : la composition consiste à écrire un programme Lisp dont le résultat est interprétable comme fichier MIDI, en s'aidant d'une bibliothèque de fonctions construite pour les besoins de la cause, et d'une simple visualisation du type piano-roll.

Compte tenu de l'audience des JIM, je décrirai plutôt les principaux aspects de la démarche formelle de composition, avant d'en faire entendre un exemple.

Schéma algorithmique

Le schéma de composition utilisé implique une structure fonctionnelle des séquences musicales, c'est-à-dire que ces séquences sont formées ou bien de nouveaux objets, ou bien d'objets dérivés par transformation d'objets antérieurement produits. Ces séquences sont créées à partir de suites numériques, elles-mêmes engendrées à partir de fonctions paramétriques ou par transformation d'autres suites. Ces calculs aboutissent à des suites de composantes (hauteurs / accords, durées, volumes) qui forment un segment monodique. Les segments monodiques s'enchaînent en monodies. Finalement, une ou plusieurs monodies s'assemblent pour constituer une polyphonie. Les étapes du schéma peuvent se résumer comme suit (les processus sont en italique, les données en romain) :

Données paramétriques
/ *génération* / Suites primaires
/ *transformations* / suites dérivées
/ suites composantes
/ *assemblages* / séquences monodiques
/ *union temporelle* / polyphonies

Ce schéma indicatif est susceptible de variantes, en particulier certaines transformations sont applicables aux séquences monodiques, voire aux polyphonies, ou se spécialisent selon le rôle conféré à une suite dans la construction. Par ailleurs le schéma couvre implicitement la construction des domaines de valeurs des composantes, leur distribution temporelle par les suites, ainsi que la construction et la transformation des segmentations qui sont des entités intermédiaires servant notamment à hiérarchiser les données.

Génération de suites primaires

Les suites utilisées pour construire une séquence MIDI sont le plus souvent des suites finies de nombres entiers.

L'objectif est généralement d'aboutir à des suites présentant un certain équilibre entre le renouvellement et la continuité. Un moyen consiste à partir d'une simple suite croissante (0, 1, 2, …n) et à lui faire subir des permutations. Parmi les techniques de permutation disponibles, on peut citer les cycles premiers, la transformation du boulanger, le cycle de Josèphe, les chaînes canoniques [KNUTH], les carrés latins et autres carrés magiques, etc. Le composant de base de ces suites est un arrangement sans répétition (c'est-à-dire un ensemble ordonné en liste) dont on peut penser qu'il prolonge

un aspect fondamental de la série dodécaphonique. Il est utilisable comme profil temporel. Noter que tout sous-ensemble d'une suite croissante est susceptible de représenter une échelle de valeurs d'un paramètre musical.

Un autre type de suites numériques, dites auto-similaires, a été présenté dans [JOHNSON], il s'agit cette fois de suites au sens général c'est-à-dire d'arrangements avec répétitions, qui se reproduisent elles-mêmes avec une certaine périodicité, à l'instar des augmentations musicales. Une telle suite peut être engendrée[1] à partir des cycles d'une permutation induite par un nombre m premier avec n. On l'obtient en assignant son numéro de cycle à chaque élément de la permutation, m est le rapport d'auto-similarité[2]. En faisant varier le point de départ de la permutation (phase), on obtient des suites différentes.

Exemple :

```
énumération            =  (1 2 3 4 5 6 7 8)
cyc.prem.de pas 3      =  (1 4 7 2 5 8 3 6)
orbites :                 ((1)(2 4)(3 7)(5)(6 8))
n°orbite :            1  2    3    4  5
suite auto-similaire : (1 2 3 2 4 5 3 5)
```

Tom Johnson cite divers autres algorithmes générateurs de suites parmi lesquelles des suites binaires telles que la suite du dragon. Par ailleurs, l'approximation de fonctions algébriques réelles par des nombres entiers fournit aussi un moyen d'obtenir des suites utiles, notamment comme "enveloppes" de profils (par exemple courbes à asymptotes horizontales telles que courbe de Gauss ou cubique Anguinea)

Transformations de suites

Parmi les transformations de suites se trouvent les transformations isométriques telles que rotation, inversion, rétrogradation, déjà connues des musiciens de Bach à Shoenberg, ainsi que les permutations déjà mentionnées. D'autres transformations telles que l'addition ou la multiplication par une constante sont l'équivalent de la transposition des hauteurs ou l'augmentation des durées. Les calculs d'arithmétique modulaire ont déjà été introduits par Xénakis et André Riotte et fournissent aussi un moyen simple de restreindre l'ambitus d'une suite à une plage donnée. Le cumul des termes d'une suite interprétée comme suite d'intervalles mélodiques la transforme en suite de hauteurs, alors que le cumul d'une suite interprétable comme durée la transforme en suite de dates temporelles.

A ces transformations d'une suite, il faut ajouter les transformations définies sur plusieurs suites, qui comportent des opérations d'assemblage telles que la concaténation ou l'imbrication (shuffle) et des opérations sur les valeurs telles qu'addition ou soustraction terme à terme de deux suites. Cette opération peut s'appliquer par exemple à la combinaison d'une suite de hauteurs et d'une suite d'intervalles pour obtenir une deuxième voix. Une sorte d'inverse des opérations d'assemblage est la décomposition d'une suite en plusieurs sous-suites pour former, soit une suite de segments (pseudo-inverse de la concaténation), soit deux ou plusieurs suites "désimbriquées" assignables par exemple à des timbres différents (principe de la Klangfarben Melodie).

Certaines de ces transformations sont extensibles de diverses façons aux segmentations, notamment en utilisant comme opérandes des suites de constantes dont chacune s'applique à tous les éléments d'un segment. Un exemple important de ce type généralise les registres d'octaves de l'usage classique à des plages ou pseudo-registres ayant une autre étendue (par exemple la quarte ou la neuvième) : l'application linéaire

---

[1] cette méthode n'est pas celle de Tom Johnson.

[2] voir aussi les commentaires donnés plus haut sous Exemple 1.

d'une suite d'indices de plage à une suite de segments représentant des profils dans la plage, les distribue temporellement sur les plages correspondantes.

Composantes

Une étape du schéma algorithmique aboutit à produire des suites utilisables comme paramètres au sens des musiciens (hauteurs, durées, intensités). Cette étape passe par l'assignation de valeurs appropriées, acceptables par un système MIDI, par exemple via le déploiement temporel d'un "champ de valeurs" associé à un paramètre en l'indexant par des suites considérées comme "profils".

En pratique, on distinguera des séquences dites d'inter-durées qui représentent des intervalles entre attaques de notes consécutives dans une monodie, et des séquences d'articulations qui représentent des coefficients (inférieurs ou supérieurs à 1) dont l'application aux inter-durées donne des durées réelles d'événements. Une monodie est définie en se donnant quatre suites composantes en argument (hauteurs, inter-durées, intensités, articulations), plus un canal qui servira à associer un instrument virtuel. Dans ce système, la composante "hauteur" est indifféremment une hauteur isolée ou un accord. L'opération constitutive de la monodie ajoute à ces suites une suite de "dates" calculée par cumul des inter-durées, et qui vont essentiellement servir à interclasser les événements des monodies dans une séquence polyphonique.

Diverses opérations telles que l'arpègement, les rebonds ou la dissociation, ne s'appliquent qu'aux monodies parce qu'elles agissent sur plusieurs composantes simultanément (par exemple les hauteurs, les durées et les dates).

Organisation temporelle

L'application du schéma général implique une stratégie de composition qui consiste notamment à construire un dosage raisonné de la combinaison continuité/renouvellement.

Les paramètres à répartir dans le déploiement sont par exemple :

• plages de hauteurs, catégories d'ambitus
• densité d'accords, dispersion des intervalles
• densité temporelle, dispersion des durées
• ornements, articulations
• densité des voix
• volumes

L'usage des suites facilite ces choix stratégiques dans la mesure où elles sont utilisables comme opérateurs de déploiement temporel applicables à divers niveaux de segmentation et de combinaison de paramètres.

Exemple

La pièce "Volute" qui sera entendue en fin d'intervention dure 4'5". Le programme qui l'engendre (à lire après les commentaires ci-dessous) figure en Annexe . Elle est construite comme suit:

• calcul de deux suites auto-similaires, sas1 et sas2, de 77 termes, à 17 et 9 valeurs respectivement
• calcul d'une suite d'accords sa1, la basse est un terme de sas1+34, chaque accord lui superpose la rétrogradation de la suite d'intervalles (1 2 … n) où n est le terme correspondant de sas2
• calcul d'une suite d'accords sa2 où le soprano et l'accord sont soustraits de 84
• calcul d'une longueur de segment ls8 égale à 1/8ème de la longueur de sas1

• calcul d'une suite de durées sd1 : pour chaque terme v de sas2 on répète v fois la valeur (+ ((v modulo 5) * 5) 9)
• calcul d'une suite de durées sd2 : pour chaque terme v de sas2 on répète v fois 64
• calcul d'une suite d'intensités sv1 : pour chaque terme v de sas2 on concatène une suite commençant par 0 et se poursuivant par v fois la valeur ((v * 5) + 40). Le 0 produit un silence.
• calcul d'une suite d'intensités sv2 : même calcul que sv1 mais sans silences
• calcul d'une monodie en 3 segments avec les composantes :
segment 1, (hauteurs: sa1, durées sd1, intensités sv1)
segment 2, (hauteurs: début de sa1 avec ls8 termes, durées sd2, intensités sv2)
segment 3, (hauteurs: sa2, durées sd1, intensités sv1)
• arpègement des accords de plus de 3 éléments, soit dans l'ordre de l'accord (inverse pour le segment 3), soit dans l'ordre d'une permutation de Josèphe
• dissociation de la monodie en 5 parties de pas (2, 3, 3, 3, 5) confiées à des sons (clarinette, violoncelle, vibraphone, célesta, clarinette), avec tenues des parties 1, 3 et 5.

Annexe: Programme de Volute (MCL 4.02)

```
(defun volute ()
  (let*((sas1 (sas 77 10))  ;suite auto-similaire à 17 valeurs
        (sas2 (sas 77 4))   ;suite auto-similaire à 9 valeurs
        (ls8 (truncate (length sas1) 8)) ;1/8 de la longueur des suites
        (sa1 (loop for s in sas1
                   for n in sas2
                   collect (cadd (cumul(reverse(iota n))) (+ 34 s))))
        (sa2 (loop for s in  sas1
                   for n in sas2
                   collect (loop for c in (cumul (iota n))
                                 collect (- 84 s c))))
        (sd1  (loop for v in sas2
                   append (ncrepeat v (+ (* (mod v 5) 5) 9))))
        (sd2 (loop for v in sas2
                   append (ncrepeat v 64)))
        (sv1  (loop for v in sas2
                   append (cons 0 (ncrepeat v (+(* v 5) 40)))))
        (sv2 (loop for v in sas2
                   append (ncrepeat v (+(* v 5) 40))))
        (mono1 (monoflux sa1  sd1 sv1))
        (mono2 (monoflux sa2  sd1 sv1))
        (mimono (monoflux (flatmix (subseq sa1 0 ls8) ;partie centrale
                                   (subseq sa2 0 ls8))
                          sd2 sv2))
        (mono(monodie-de-monoflux
              (arpeger-monoflux
               (flatcat mono1 mimono mono2)
               #'(lambda(tup)  (>(length(second tup))3))
               #'(lambda(bloc)
                   (case (mod(first bloc) 4)
                     (0 bloc)
                     (otherwise
                      (valorisation (josephus (length bloc) 3)
                                    bloc)))))))
        (cla1 (dissocier mono 2 0 t :channel 0))
        (cello (dissocier mono 3 1 nil :channel 1))
        (vib (dissocier mono 3 2 t :channel 2))
        (celes (dissocier mono 3 3 nil :channel 3))
        (cla2 (dissocier mono 5 4 t :channel 4)))
    (list cla1 cello vib celes cla2)))

(progn
  (instrumenter 0 71)
  (instrumenter 1 42)
  (instrumenter 2 11)
  (instrumenter 3 8)
  (instrumenter 4 71))

;(piano-scroll (volute)) ;cette fonction visualise en rouleau de piano et
;affiche une commande de jeu
;(sauver-en-midi-file (volute))
```

Références

JOHNSON Tom, *Self-Similar Melodies*, Editions 75, Paris, 1996.

KNUTH D.E., *The Art of Computer Programming*, Vol.I, Addison-Wesley, Reading (Mass.), 1968.

RIOTTE A., *Un modèle de la 1ère pièce pour quatuor à cordes de Stravinsky*, Bulletin ARTINFO-MUSINFO n°29, Vincennes, 1979.

RIOTTE André, Un automate musical construit à partir d'une courte pièce de Bela BARTOK (Mikrokosmos n°39) .in *Informatique et sciences humaines* n°45, Université Paris-Sorbonne, 1980.

SPERBER Dan, *La contagion des idées*; Odile Jacob, Paris, 1996.

XENAKIS lannis, *Musiques formelles*, Paris: Massé, 1963.