

DISSEMBLANCE ET ESPACES COMPOSITIONNELS

Frédéric Voisin

Conservatoire de Musique du
Pays de Montbéliard
fred@fredvoisin.com

RÉSUMÉ

Nous présentons une méthode originale d'analyse de formes symboliques fondée d'une part sur une mesure de dissemblance et, d'autre part, sur la théorie des graphes. En partie déjà éprouvée, elle permet d'étudier des ensembles composés de symboles arbitraires, de constituer et d'explorer des « espaces compositionnels ». Aussi, une première méthode de partitionnement de tels espaces est proposée, illustrée et discutée à travers un exemple de transcription automatique de sonagrammes. Ces méthodes sont développées avec la collection d'outils *fv-morphologie* pour *OpenMusic* et *PWGL*.

1. INTRODUCTION

Morphologie est une collection d'outils destinée à la composition assistée par ordinateur, développée en 1997 à l'Ircam pour les environnements de composition *Patchwork*, *OpenMusic*, et, plus récemment, pour *PWGL*. Réunissant à l'origine deux aspects complémentaires, l'un dédié à l'analyse musicale que je propose, l'autre à la génération musicale proposé par Jacopo Baboni-Schilingi [1], cette collection d'outils continue d'être exploitée et développée. En 2007, la partie analytique a été refondue dans un cadre théorique plus explicite et fait dorénavant l'objet d'une collection d'outils spécialement dédiée à l'analyse de séquences symboliques : *fv-morphologie*, dont le développement est toujours en cours¹.

La classification d'objets musicaux fondée sur les arbres de recouvrements minimaux constituait l'une des contributions majeures de la version initiale de *Morphologie*. Jusqu'à présent, sa documentation a néanmoins été qu'orale. Bien qu'expérimentée avec succès auprès de différents compositeurs, cette fonctionnalité n'a malheureusement pu être maintenue lorsque l'environnement graphique sur lequel se fondait alors *OpenMusic - Macintosh Common-Lisp* - fut abandonné, lors de l'arrivée du système d'exploitation Mac OS X. La version actuelle de *fv-morphologie* en propose une nouvelle version en recourant, pour le rendu graphique, au format *.dot* et aux programmes libres *webdot*, *Graphviz* ou *Tulip*, et tout particulièrement au programme Unix *neato*² qui

¹ <http://www.fredvoisin.com/fv-morphologie/>.

² *webdot*, *Graphviz* sont développés par AT&T Labs Research (cf. <http://www.graphviz.org>) ; *Tulip* est développé par le LaBRI et l'INRIA (cf. <http://tulip.labri.fr>).

remplace avantageusement le rendu graphique que nous avions initialement développé de façon plus sommaire³.

2. PRINCIPES GÉNÉRAUX

Avec *fv-morphologie*, l'analyse musicale est essentiellement fondée sur la représentation symbolique d'objets les plus divers : les énoncés musicaux y sont représentés au moyen d'ensembles ou de suites de symboles qui les décrivent selon une notation arbitraire, au choix de l'utilisateur. *fv-morphologie* recourant au langage Lisp, ces suites ou ensembles de symboles, que nous appelons par la suite forme symboliques, sont notés tels les « S-expressions » (*symbolic expressions*), à savoir entre parenthèses : (a b c ...). Le caractère temporel ou atemporel d'une telle liste, de même que son éventuelle structure, ne tient donc qu'à l'interprétation qui en est faite implicitement par le lecteur. De plus, une liste peut elle-même être constituée de listes de symboles, conférant alors un niveau de structuration plus explicite, par exemple : ((a b) (c d) ...).

2.1. Mesure de dissemblance

Afin de pouvoir comparer de telles formes symboliques entre elles, *fv-morphologie* propose de recourir à la distance d'édition, dite également distance de Levenshtein, généralisation de la distance de Hamming. Il est à noter que, contrairement à son nom, la distance d'édition n'est pas une distance au sens strict (mathématique), mais une mesure de dissimilarité, fondée sur la recherche du coût minimal pour la transformation d'une suite en l'autre, ce au moyen des trois opérations suivantes appliquées pas à pas :

- substitution d'un symbole par un autre
- insertion d'un nouveau symbole
- suppression d'un symbole

Ainsi, par exemple, la distance d'édition entre la suite (c d e g a g g) et la suite (e d e g a g a g) égale 3, nombre minimal d'opérations nécessaires à la transformation. On remarquera que la comparaison peut porter sur des listes de longueurs différentes, ce qui

³ Ainsi la plupart des fonctionnalités présentées ici avec *fv-morphologie* étaient disponibles dès la version initiale de *Morphologie* (1997).

permet la comparaison formes symboliques de différentes longueurs. Dans le cas où les listes représentent des objets atemporels, tels que des accords, on prendra soin d'appliquer un même principe (non aléatoire) d'arrangement ou de classement des symboles au sein de chacun des ensembles (listes) constitués, ceci afin que la mesure de dissemblance soit pertinente.

Aussi, nous proposons dans *fv-morphologie* différents aménagements à la distance d'édition : d'une part la possibilité de normaliser la distance d'édition à la longueur des suites comparée – la mesure variant alors entre la valeur 0 et 1 selon que la ressemblance est, respectivement, parfaite ou nulle. D'autre part, outre de pouvoir modifier le coût de chacune des opérations d'édition (modification dont l'interprétation reste délicate), nous avons ajouté, de manière empirique, un coefficient majorant le coût de substitution lorsque cette opération s'applique à des symboles qui ne sont pas communs aux deux ensembles comparés. Ceci a pour effet de maximiser la dissimilarité entre des listes contenant des symboles non communs.

Des études semblent avoir montré que cette mesure de dissimilarité semble étonnamment comparable à des mesures obtenues lors d'expérimentations psycho-acoustiques d'appariement de courtes mélodies⁴. Il n'en reste pas moins que sa pertinence musicale peut être établie de manière empirique, du moment que les principes sous-jacents à l'encodage symbolique – la transcription – des objets musicaux prennent en considération les contraintes de cette mesure, aussi faibles soient-elles.

Une application immédiate de la distance d'édition est, par exemple, la recherche de variantes d'un même motif au sein d'une séquence musicale, recherche qui, dès lors, peut admettre un seuil de dissemblance. L'automatisation d'une telle recherche, comme nous le proposons dans *fv-morphologie*, offre une procédure intéressante directement l'analyse paradigmatique, la mesure de dissemblance par distance d'édition se substituant avantageusement au critère peu explicite d'un « air de famille » entre motifs musicaux [2].

2.2. Espaces compositionnels

Il est parfaitement intuitif et bien connu que la seule liste exhaustive des distances entre différents points d'un espace de type euclidien permet de reconstituer la disposition de ces points dans l'espace. Ainsi, par exemple, la liste de l'ensemble des distances (euclidiennes) entre différentes villes de « l'hexagone », lorsque celles-ci sont judicieusement choisies, permet de reconstituer la carte de France – à peu près. La méthode, bien que peu triviale, existe et fait appel au calcul des « valeurs propres » et des « composantes principales » de la matrice des distances qui permettent de minimiser les distorsions nécessaires à une projection euclidienne.

A l'instar d'une telle projection, nous proposons dans *fv-morphologie* de représenter la topologie de l'espace

qui serait constitué par un ensemble de formes symboliques. Si à l'instar de l'exemple précédent il est également possible de calculer une projection de ces objets dans un espace euclidien qui respecterait, sans trop de distorsion, la liste exhaustive des mesures de similarité entre les formes symboliques considérées, une telle méthode ne nous semble pas adaptée. Il est en effet évident qu'une telle représentation impose une dimensionalité *a priori* absente des formes symboliques considérées. Par exemple, il semble n'y avoir aucun sens à envisager les trois formes suivantes : (c d e g a g), (d e g b g a), (d g e g) comme autant de points dans un unique espace euclidien dont on ne saurait par ailleurs pas identifier la nature des dimensions. Même si, par exemple, elles représentaient des suites de hauteurs, du fait que ces formes ne sont pas de même longueur chacune de ces formes ne saurait être représenté par un point unique dans un même espace commun au trois.

Par contre, il nous semble qu'un tel espace peut être imaginé de manière abstraite, sans réelle dimension, par le seul jeu de sa mise en relation de leurs dissemblances. Un tel espace gagne alors à être représenté au moyen de graphes, la fonction essentielle de ceux-ci consistant justement relier différents éléments entre eux et ce, éventuellement, sans dimensionalité pré-établie.

Nous suggérons donc de représenter un tel ensemble de formes symboliques par leur arbre de recouvrement minimal, lequel assure que les chemins entre deux sommets quelconques du graphe sont toujours les plus courts. Chaque sommet du graphe représentant l'une des formes symboliques de l'ensemble constitué, le chemin le plus court correspond alors nécessairement à la distance d'édition entre la forme d'origine et la forme d'arrivée⁵.

Minimisant les connections, un arbre de recouvrement minimal n'est donc pas un graphe complet et il est dépourvu de cycles. Le chemin entre deux sommets du graphe est donc toujours unique, le plus court, et passe le cas échéant par des nœuds intermédiaires : aux chemins imposés correspondent les transitions comportant le moins de différences (cf. Figure 1). Cette propriété est particulièrement intéressante pour la composition musicale⁶.

Par ailleurs, il est important de noter qu'à un espace symbolique donné correspond un arbre de recouvrement minimal unique, bien que celui-ci peut revêtir, comme la plupart des graphes, plusieurs représentations graphiques selon différents choix de tracé. De même, la projection d'un graphe sur un plan est ici purement arbitraire, et peut entraîner des distorsions plus ou moins importantes sur la longueur des liens tracés qui indiquent les mesures de dissimilarité.

⁵ Parmi les différents algorithmes existants pour le calcul de l'arbre de recouvrement minimal, nous avons opté, dans *fv-morphologie*, pour l'algorithme de Prim en raison de sa simplicité d'implémentation. Des versions ultérieures pourront préférer des algorithmes plus rapides, tels que l'algorithme de Kruskal.

⁶ Nous l'avons notamment appliquée avec Philippe Leroux pour la réalisation de certaines séquences de Voi[rex] à l'Ircam.

⁴ Communication personnelle de Stephen McAdams à l'Ircam (1999).

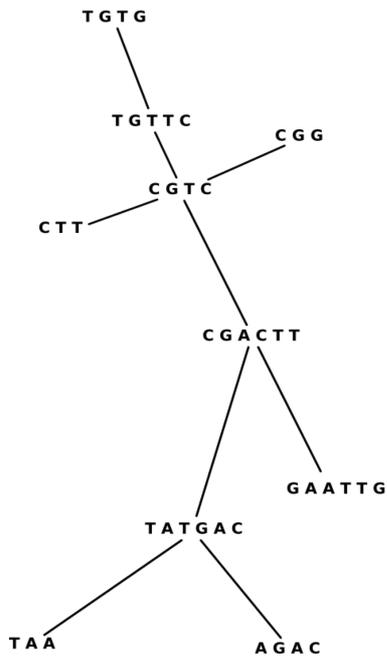


Figure 1. Arbre de recouvrement minimal de 10 suites de symboles arbitraires.

Ainsi chaque arbre de recouvrement minimal reflète une structure particulière intrinsèquement liée à celle propre aux formes symboliques qui le compose.

Si la lecture des différents cheminements possibles dans l'arbre de recouvrement en permet une exploration empirique, de nombreux concepts issus de la théorie des graphes offrent des outils originaux qui en permettent l'analyse, ce que nous envisageons dans le développement de *fv-morphologie*. Ainsi par exemple le « degré », à savoir le nombre de connections dont est doté un noeud, donne une indication sur l'importance qu'il revêt dans le graphe, voire sa fonction dès lors qu'il permet, notamment, de distinguer une « feuille » (degré = 1) d'un « nœud interne » (degré > 1).

3. GRAPHES ET TRANSCRIPTIONS

3.1. Partitionnement d'arbre de recouvrement

L'étude d'un arbre de recouvrement minimal et l'exploration de ses différents chemins font rapidement apparaître des régions regroupant des formes symboliques apparentées, surtout lorsque sa structure est irrégulière ou asymétrique – ce qui est le plus souvent le cas. L'observation de telles régions est assez intuitive, voire évidente dans le cas de petits arbres (cf. Figure 2), la méthode de partitionnement n'est cependant pas triviale. Dans certains cas d'arbres simples ou petits nous obtenons un partitionnement satisfaisant en scindant le graphe là où les connections sont les plus longues, dissociant ainsi les régions comportant les formes symboliques les plus dissemblables. Il semble pertinent de prendre en compte d'autres critères, tel que le voisinage des nœuds, ou encore leur degré. Notons par ailleurs que le nombre de partitions possibles dépend

de la structure propre de l'arbre et ne peut être fixé précisément *a priori*. Les recherches théoriques à ce sujet sont très prometteuses, mais encore récentes, empiriques et ne s'appliquent encore qu'à certaines configurations particulières d'arbres de recouvrement minimal [3].

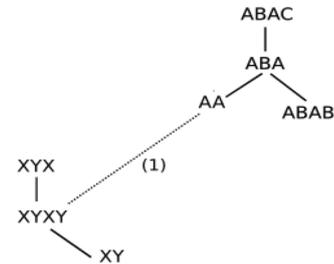


Figure 2. L'arbre de recouvrement minimal peut être partitionné en (1).

Dans *fv-morphologie* nous proposons pour le moment, à titre expérimental, un premier partitionnement prenant en compte la seule distance. D'autres méthodes de partitionnement sont recherchées et expérimentées d'un point de vue musical.

3.2. Application du partitionnement d'arbre de recouvrement minimal à la transcription automatique de sonagrammes.

Un sonagramme est une représentation graphique du spectre sonore dans un espace temps/fréquence. Il peut être obtenu soit de manière analogique, en mesurant la répartition de l'énergie acoustique dans un banc de filtres, soit par la transcription graphique de la décomposition du signal réalisée par une Transformée de Fourier. L'interprétation d'un sonagramme est donc essentiellement visuelle et l'information réside essentiellement dans l'agencement de formes graphiques dans un plan (temps/fréquence). En musicologie comme en création électroacoustique, une représentation en noir et blanc est le plus souvent suffisante pour en permettre, *de visu*, une interprétation pertinente, voire pour s'en faire une image auditive intérieure. Ainsi considéré, un sonagramme peut être représenté par deux valeurs, blanc ou noir, ce surtout lorsque l'intensité d'un partiel est traduite par l'épaisseur du trait qui le représente (comme tel est en le cas au moins pour les sonagrammes analogiques).

Afin d'illustrer distance d'édition et arbre de recouvrement minimal, nous proposons de les appliquer à la transcription d'un sonagramme d'un chant de Rougequeue [4] (cf. Figure 3).



Figure 3. Sonagramme de chant de Rougequeue.

L'ensemble de la procédure, automatisée, est ici réalisée avec *fv-morphologie* dans l'environnement *PWGL* (cf. Figure 4, ci-dessous)⁷.

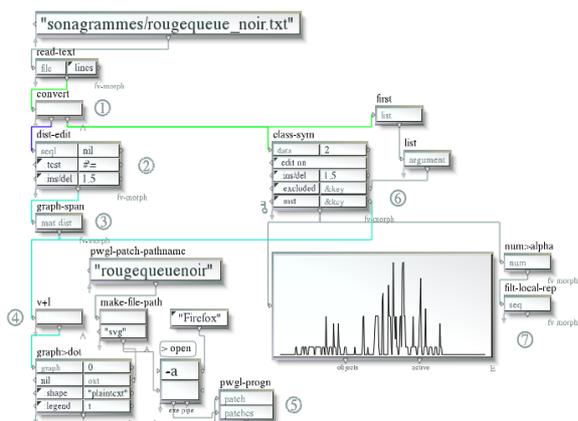


Figure 4. Procédure automatique de transcription du sonagramme du chant de Rougequeue, dans *PWGL*.

Dans un premier temps, il s'agit d'encoder l'image du sonagramme en un texte composé uniquement de deux signes arbitraires⁸, l'un signifiant la présence d'énergie – par exemple : *x*, l'autre l'absence d'énergie – par exemple : *-*. Lorsque l'échantillonnage de la conversion de l'image en caractères ASCII est assez fin, la plupart des informations graphiques sont conservées.

Sans prétention ornithologique particulière, nous avons utilisé ici un échantillonnage assez grossier du sonagramme en 300 x 45 signes, pour une durée de 5 secondes et une étendue spectrale de 8000 Hz, soit une définition temporelle de 17 ms et de 178 Hz pour la définition spectrale (Figure 5)⁹.

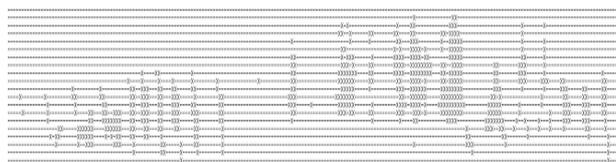


Figure 5. Encodage du sonagramme d'un chant de Rougequeue en caractères ASCII.

Dans un second temps, on considère chacune des colonnes formées des signes */-* et */x/* qui représentent l'évolution du spectre instantané. On mesure les dissimilarités entre chacune des formes symboliques représentant ces spectres instantanés selon la distance d'édition, celles composées du seul signe */-*, qui correspondent à un silence, ayant été préalablement exclues. Ici, les différents coûts des opérations de la

distance d'édition ont été aménagés empiriquement afin de maximiser le coût de transpositions de hauteur (coût d'insertion et de suppression), et de minimiser celui de la naissance ou de la disparition de partiels (coût de substitution)¹⁰.

L'ensemble des formes symboliques de spectre instantané peut dès lors être représenté par un arbre de recouvrement minimal où chacun des nœuds indique, par un nombre, la position du spectre instantané (non nul) dans le sonagramme encodé (cf. Figure 6).

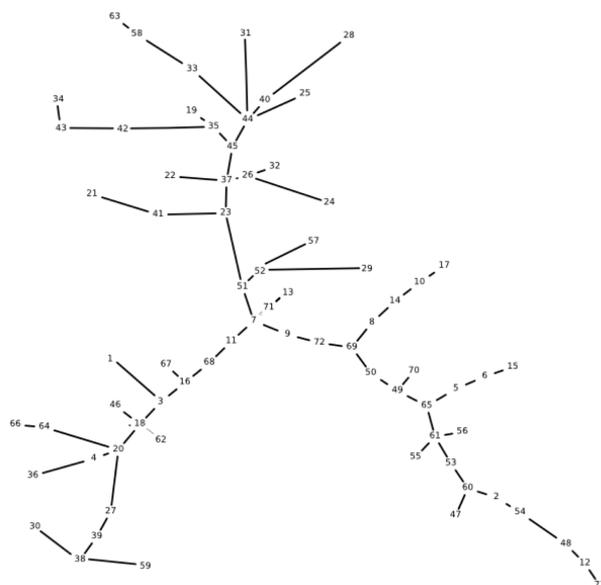


Figure 6. Arbre de recouvrement minimal du sonagramme du chant de Rougequeue.

Enfin, dans un troisième temps, le partitionnement de l'arbre de recouvrement en sous-arbres permet d'identifier des classes regroupant les formes de spectres instantanés les plus proches. Les 73 formes différentes qui forment le graphe – et le sonagramme – peuvent être décomposées en 12 classes. Dès lors, l'association de chacune des formes à la classe qui lui est associée permet de segmenter et de transcrire le sonagramme encodé selon les numéros des classes correspondants (Figure 7) :

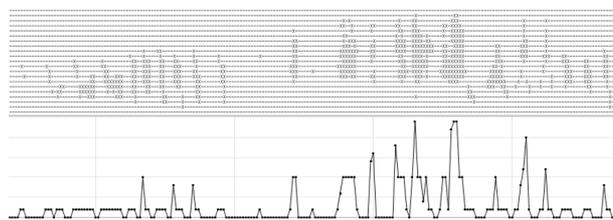


Figure 7. Classification des formes de spectre instantané du sonagramme de Rougequeue.

⁷ Cette procédure figure dans le tutoriel pour *PWGL* distribué avec *fv-morphologie*. Elle peut être réalisée dans tout environnement Common-Lisp.

⁸ Nous utilisons ici le programme libre *jp2a* (<http://jp2a.sf.net>).

⁹ Pour des raisons de mise en page, la figure 5 ne représente que la partie utile du spectre converti en caractères ASCII, et non tout l'échantillonnage.

¹⁰ D'autres aménagements sont certainement possibles, sinon souhaitables, comme nous le verrons plus loin.

Après conversion en notation alphabétique de chacun des numéros correspondant aux différentes classes de formes de spectre instantané, puis suppression des répétitions locales, nous obtenons enfin la transcription suivante :

(a a a a a ea a da da a a ae a acea gh iea elebea aeaklea aea adfja afa a a da)

Certaines erreurs peuvent être constatées dans cette transcription. Au début du sonagramme, une forme telle que : (a a a da ea da da da) est attendue ; de même les trois derniers traits du sonagramme où la forme (da da da) est préférable à (a a da). On remarquera que la présence de la forme (da) – et sa variante (ea) – au début et à la fin du sonagramme est plutôt pertinente. Comme on peut le voir, cette dernière erreur tient surtout à l'échantillonnage du sonagramme lors de sa conversion en symboles ; un meilleur échantillonnage aurait certainement permis une meilleure transcription. De même, un prétraitement des données encodées, tel que la suppression des formes spectrales constituées d'un seul caractère non nul, dénotant une très faible énergie, aurait amélioré la classification. Enfin, il est très probable qu'un meilleur critère de partitionnement de l'arbre de recouvrement, qui prenne en compte le degré et le voisinage des nœuds où s'effectue le partitionnement, parvienne à un meilleur résultat.

3.3. Robustesse de la transcription automatique de sonagramme

Afin de vérifier la pertinence de cette méthode de transcription, nous l'avons appliqué à un nouveau sonagramme du même extrait du chant du Rougequeue noir [4]. Tandis que le sonagramme précédent était directement extrait de l'ouvrage cité, nous l'avons réalisé nous-même avec une meilleure résolution. Nous en avons ensuite encodé la partie située entre 2 et 8 kHz en 600 x 90 signes choisis parmi les deux caractères // ou ./ (cf. Figure 8), soit une résolution plus de deux fois supérieure à l'exemple précédent.

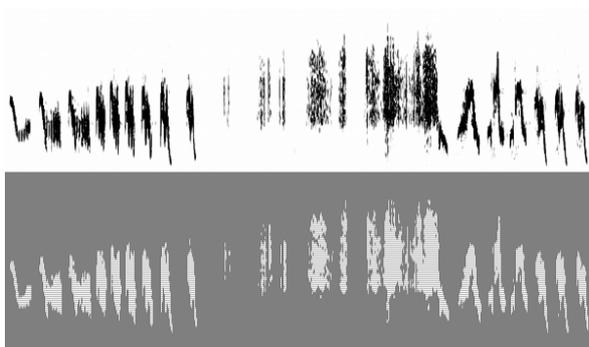


Figure 8. Second sonagramme et encodage, en deux caractères ASCII, du chant de Rougequeue noir.

L'ensemble des distances d'édition des 326 formes de spectres différentes présentes dans l'encodage de ce

sonagramme permet de déduire un nouvel arbre de recouvrement minimal (cf. Figure 9). Si, comme attendu, ce dernier est plus fourni et différent du précédent, du fait d'un encodage plus précis, on peut observer une allure générale assez proche : un important nœud central distingue deux ou trois branches principales, chacune dotée de ramifications plus ou moins longues et de nœuds majeurs vers leur extrémité.

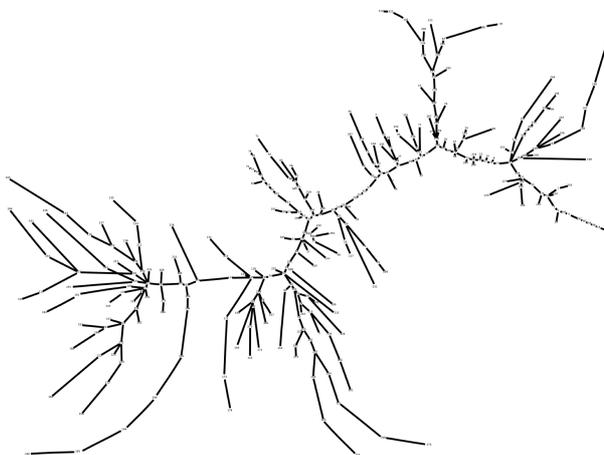


Figure 9. Arbre de recouvrement minimal correspondant au second sonagramme du chant de Rougequeue noir.

La transcription des formes de spectre instantané résultant du partitionnement de ce dernier arbre est bien plus précise. La succession des 19 classes de spectre instantané obtenues aboutit à une forme globale sensiblement identique à la transcription obtenue précédemment (cf. Figure 10) :

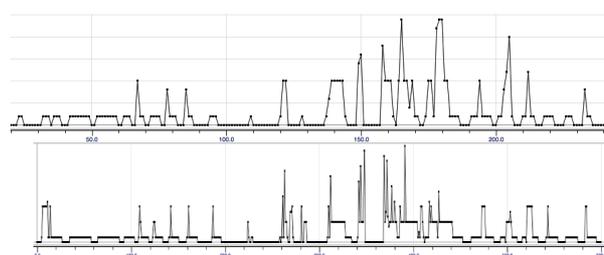


Figure 10. Deux transcriptions automatiques fondées sur deux sonagrammes et résolutions d'encodage différents : première version en haut (300 x 45 signes), et seconde version en bas (600 x 90 signes).

Cette dernière transcription peut être représentée en caractères alphabétiques sous la forme suivante – répétitions locales omises :

(aghaga a a a agda ada aga aga aga da aianda fga g d agamda aldodr qdfpecdkdhagdsdabagda ahgdajda aga a dfda a ga aga a ga)

Bien qu'encore imparfaite, cette transcription répond en bonne partie à nos attentes. On y observe notamment plus en détail l'évolution du motif initial (a) et ses

variantes (aga), (ada) ou (agda) au début du chant et les formes plus articulées (a-dfda), (a-ga) de la fin du chant. Il ne fait pas de doute qu'une étude plus précise de ces différents motifs et de leurs variantes pourrait certainement être entreprise en les isolant de ceux de la partie centrale du chant dont ils se distinguent. Par ailleurs, une transcription prenant en compte les répétitions locales, omises ici afin de clarifier notre propos, en permettrait une meilleure analyse rythmique.

Et inversement, en toute logique, la partie centrale du sonagramme, qui correspond à des motifs sonores de nature très bruitée, donne lieu à une transcription moins régulière.

3.4. Transcription de formes spectrales

Cette méthode de transcription, jusqu'à présent restreinte aux formes du spectre instantané, peut être étendue aux formes spectrales qui se déploient dans la durée du sonagramme. Pour ce faire, il s'agit de concaténer tous les spectres instantanés contigus qui sont encadrés par un silence. Ainsi, le dernier sonagramme encodé du Rougequeue présente les 26 formes spectrales séparées d'un silence. Chaque forme spectrale ayant nécessairement une longueur multiple à celle d'une forme de spectre instantané (ici, de 90 signes chacun), il est préférable d'en normaliser les distances d'édition. Et, comme précédemment, de l'ensemble des distances est déduit l'arbre de recouvrement minimal correspondant (cf. Figure 11).

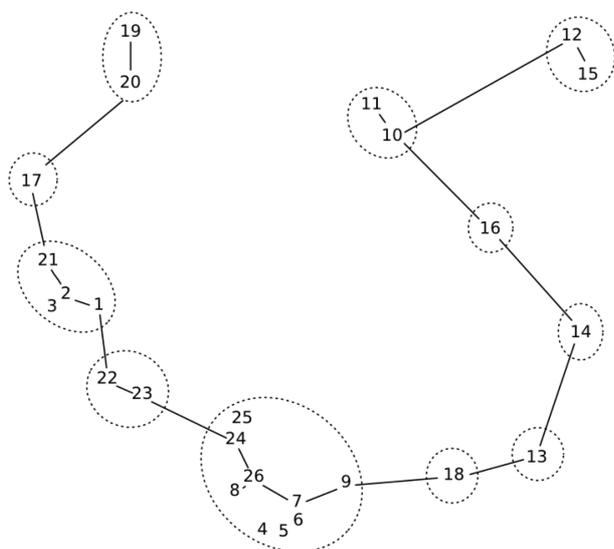


Figure 11. Partitionnement de l'arbre de recouvrement minimal des formes spectrales du sonagramme du chant du Rougequeue.

Le seuil de la distance minimale de partitionnement est particulièrement critique puisqu'il décide du nombre de partitions, relativement à la structure de l'arbre de recouvrement. Ici, nous avons effectué le partitionnement de l'arbre de recouvrement progressivement, de manière supervisée, jusqu'à obtenir onze classes de

formes spectrales qui permette de transcrire le sonagramme de manière optimale (cf. Figure 12).

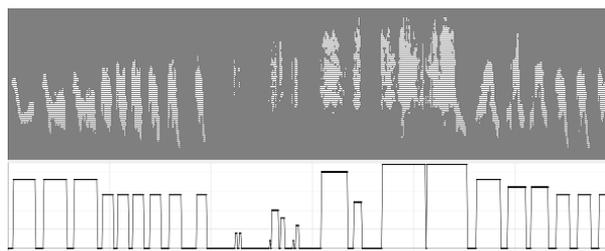


Figure 12. Transcription des formes spectrales du sonagramme de Rougequeue en onze classes.

Soit, en caractères alphabétiques, la forme générale :
(a a a b b b b b b cc def dg h i j j
a k k b b b)

où il apparaît assez clairement qu'au motif initial :
(a a a b b b b b b) répond celui, final :
(a k k b b b).

On remarque qu'au début du motif final du chant ainsi transcrit, la forme notée a est plutôt apparentée à la forme k. Cette erreur peut cependant être relativisée au seuil de distance de partitionnement qui peut encore être réduit, et indique que le critère de partitionnement gagnerait encore à prendre en compte la structure de l'arbre de recouvrement et du voisinage de chacun de ses nœuds. D'autres aménagements restent à expérimenter et certains peuvent être empruntés à d'autres méthodes de classification. Par exemple, l'évolution du partitionnement selon le seuil de distance peut donner une indication sur le degré d'appartenance d'une forme à une classe. Aussi, une normalisation de la distance d'édition gagnerait à prendre en considération qu'elle porte sur des formes de longueurs qui sont toutes multiples entre elles (multiples du nombre de signes pour chaque spectre instantané). Ou bien, au contraire, une normalisation de la longueur des formes spectrales rendrait leur dissimilarités moins sensibles à leur variation en durée. Enfin, un échantillonnage qui encoderait un tant soit peu l'amplitude du spectre, par exemple au moyen de trois ou quatre caractères plutôt que seulement deux comme dans notre exemple, apporterait une information significative que nous avons ignoré ici.

Le principe général nous semble néanmoins satisfaisant, eu égard à l'aspect original et encore très expérimental de cette approche et ce d'autant que le cas du sonagramme est difficile et situé à l'extrême limite du domaine qui nous intéresse¹¹.

D'ailleurs, la véritable finalité de cette méthode consistant à représenter des expressions symboliques sous la forme de graphe, la transcription du sonagramme du Rougequeue peut à son tour être projetée sous la forme de son arbre de recouvrement minimal, lequel

¹¹ Les données brutes ainsi que les programmes ayant permis de réaliser les exemples présentés ici sont disponibles sur le site web de l'auteur, à l'adresse : <http://www.fredvoisin.com/jim2011/>

représente dès lors un espace purement symbolique qui met en relation les formes de spectres telles que transcrites : ainsi la Figure 13 ci-dessous représente, hors temps, les formes de spectre instantané transcrits dernièrement (cf. Figure 10).

Différentes lectures d'un tel espace symbolique sont possibles. Reste à se familiariser à une représentation qui nécessite encore d'être expérimentée dans le domaine de l'analyse musicale. Ici, comme exemple de lecture, nous y avons délimité en pointillé l'ensemble des motifs initiaux et finaux du sonagramme – et du chant du Rougequeue, les formes spectrales correspondant au motif bruité du chant étant situées à la périphérie du graphe. Aussi simple soit-il, la mise en perspective de ce graphe – hors temps – avec sa transcription – dans le temps – met en évidence une dynamique qui nous semble caractéristique de ce chant.

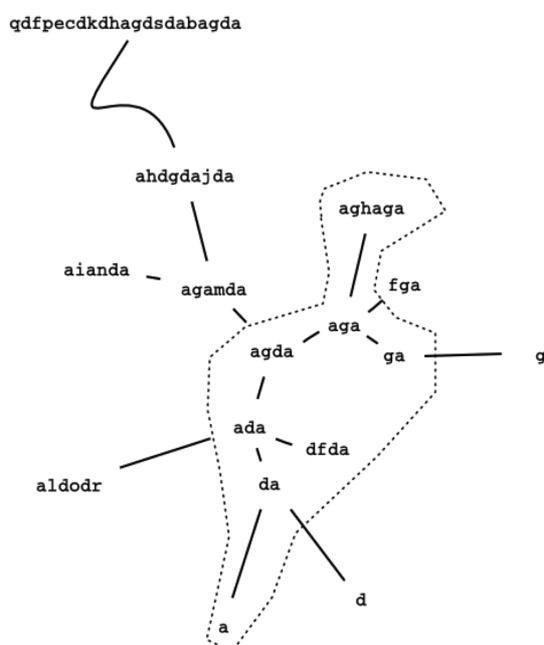


Figure 13. Espace (graphe) des formes de spectre instantané du sonagramme du chant de Rougequeue.

4. PERSPECTIVES

Parmi les méthodes exposées, le recours à la distance d'édition et à la représentation de l'arbre de recouvrement minimal a déjà été longuement éprouvé par différents compositeurs, notamment à l'Ircam avec la version initiale de *Morphologie*. Leur application fut cependant restreinte par la vitesse de calcul alors disponible : certains exemples présentés ici ont requis plusieurs dizaines de minutes de calcul ; ils auraient alors nécessité un temps de calcul non réaliste. Aussi, la nouvelle version *fv-morphologie* développe les fondements alors esquissés et ouvre de nouvelles perspectives d'analyse musicale ou de composition assistée par ordinateur.

L'exemple du chant du Rougequeue, loin de prétendre à une exactitude ornithologique, avait pour objet d'expérimenter ces nouvelles méthodes à travers une application concrète et volontairement limitée tant en difficulté qu'en temps de calcul, s'agissant de transcrire dans un espace symbolique les données spectrales continues que représente un sonagramme. La difficulté est moindre si les données à représenter sont dès l'origine d'ordre symbolique, du moment que leur encodage est consistant : textes, notations, transcriptions, etc. Aussi, dans le cas d'un grand nombre de données, comme dans le cas de la transcription de sonagrammes, certains calculs tels que nous les avons implémentés peuvent nécessiter d'être optimisés pour en réduire la durée.

Enfin, nous envisageons de développer des mesures de ressemblance pour les arbres de recouvrement minimaux, lesquelles nous permettront de comparer entre elles, à un niveau supérieur, différentes formes musicales symboliques de manière systématique, corpus de partitions et de transcriptions. Dans cette perspective, l'analyse spectrale de graphes nous semble prometteuse.

Ainsi la théorie des graphes et tout particulièrement les arbres de recouvrement minimaux ouvrent de nouvelles perspectives d'analyse musicale, non seulement pour la classification de formes symboliques, mais aussi pour leur interprétation : comme on l'aura remarqué, les procédures utilisées ici illustrent certains concepts développés par Deleuze et Guattari [5]. Ici, en effet, la dissemblance de formes symboliques est uniquement évaluée à travers le coût d'opérations fondamentales de différenciation (insertion, suppression, substitution), lequel permet une représentation de type rhizomatique d'un espace imaginaire offrant de multiples lectures et agencements pour les besoins de l'analyse ou de l'écriture musicales.

5. RÉFÉRENCES

- [1] Baboni-Schilingi, J. & Voisin, F. *Morphologie : Documentation OpenMusic*, 3ème édition, Ircam, 1999.
- [2] Ruwet, N. *Langage, musique, poésie*. Editions du Seuil, coll. Poétique, Paris, 1972.
- [3] Galluccio L., Michel O., Comon P. "Arbres de recouvrements minimaux duaux et application à la segmentation non supervisée", *22ème colloque GRETSI*, Dijon, France, 2009.
- [4] Bossus C., Charron F. *Guide des chants d'oiseaux d'Europe occidentale*, coll. Les guides du naturaliste, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 2003.
- [5] Deleuze G., Guattari F., *Mille plateaux, Capitalisme et schizophrénie 2*, Les Editions de Minuit, coll. « Critique », Paris, 1980.