

REPRÉSENTATIONS ANALYTIQUES AVANCÉES AVEC EANALYSIS

Pierre Couprie

IReMus (UMR 8223), Université Paris-Sorbonne
pierre.couprie@paris-sorbonne.fr

RÉSUMÉ

Le logiciel EAnalysis est développé depuis 2010 pour l'aide à l'analyse de la musique électroacoustique et, plus largement, des musiques non notées. Il permet de créer des représentations graphiques, acoustiques, mathématiques ou musicales. Les dernières mises à jour présentent un certain nombre de nouveautés dans le domaine de la représentation du spectre, de l'usage des descripteurs audio, du filtrage et de la représentation des structures linéaires. Différents travaux ont été menés afin d'ajouter des fonctions très utiles en analyse musicale ou créer des liens avec d'autres logiciels comme le plugin vamp LibXtract ou le logiciel SuperVP.

1. INTRODUCTION

Le logiciel EAnalysis ¹ a déjà fait l'objet d'une présentation lors d'une précédente édition des JIM [5]. Cet article présentait la philosophie du logiciel, son architecture, ses fonctions d'annotations ainsi que les possibilités d'exportation et d'importation de données textuelles ou audiovisuelles. Depuis 2012, le logiciel a beaucoup évolué : son architecture a été modifiée afin d'offrir un nombre de fonctionnalités accrues, de nouveaux types de représentations ainsi qu'un lien avec des logiciels externes. Cet article se concentre donc sur les nouvelles fonctions et notamment celles qui permettent de travailler avec les représentations acoustiques du son en analyse musicale.

Jusqu'aux débuts des années 2000, l'analyse de la musique électroacoustique s'est appuyée, d'une part, sur les recherches issues de la typomorphologie de Schaeffer [18] en augmentant le modèle de l'objet sonore (spectromorphologie [20], typomorphologie augmentée [21, 10], paysage sonore [19]) ou en explorant de nouveaux champs (fonctions [16], UST [17], narrativité [11]) et, d'autre part, sur le modèle de la transcription morphologique [8, 4]. Cette dernière, issue des recherches en linguistique structurale et en ethnomusicologie, a permis de diffuser la musique électroacoustique vers un public de néophyte et de faciliter la production

d'analyses musicales. Toutefois, en se basant sur la segmentation en unités bien délimitées et identifiables, la transcription morphologique n'est possible qu'avec un corpus limité aux œuvres historiques ou à quelques œuvres plus récentes. La production musicale depuis la fin des années 1960 résiste très souvent à la segmentation en unités, à l'analyse formelle classique et à la description d'un matériau uniforme peu évolutif. De plus, la transcription morphologique apparaît bien souvent comme une étape préanalytique permettant de transcrire les éléments sur lesquels portera ensuite l'analyse proprement dite ou postanalytique afin de réaliser les exemples qui accompagneront une présentation ou une publication.

Depuis quelques années, mes recherches se concentrent sur le modèle de la représentation analytique. Moins restrictif que la transcription, l'englobant même, la représentation analytique permet d'intégrer les techniques de représentation au cœur même du processus d'analyse musicale. Elle devient alors un outil d'analyse et de modélisation graphique de l'œuvre qui intègre tous les types de représentations, qu'ils soient scientifiques, musicaux ou artistiques. Il est donc tout naturel d'avoir conçu EAnalysis dans cette dynamique.

Dans une première partie, je présenterai les nouveautés concernant la visualisation du spectre. J'exposerai ensuite différents exemples de représentations basés sur les descripteurs audio. Enfin, dans la troisième partie, je me concentrerai sur quelques autres fonctions comme l'usage de technologies externes ou la représentation de la segmentation musicale.

2. SONAGRAMMES

Le sonagramme est généralement utilisé comme base graphique pour l'analyse des musiques électroacoustiques ou des musiques non notées. En effet, il facilite le repérage temporel et fréquentiel des objets musicaux et offre souvent une vision synoptique intéressante de l'œuvre. Si le sonagramme est habituellement utilisé en analyse musicale dans sa forme la plus simple (tracé spectral linéaire ou logarithmique à partir d'une FFT), il peut aussi être utilisé sous des formes différentes. Ainsi, la représentation en ondelette s'avère être très intéressante pour travailler sur des œuvres élaborées à

1. EAnalysis est un logiciel gratuit pour Macintosh OS10.7 ou supérieur disponible sur le site : <http://eanalysis.pierrecouprie.fr>. Ce logiciel est développé en collaboration entre le *Music, Technology and Innovation Research Centre* (MTIRC) de l'université De Montfort de Leicester et l'Institut de Recherche en Musicologie (IReMus) de l'Université Paris-Sorbonne.

partir d'un matériau harmonique.

EAnalysis permet de créer des représentations à l'aide de cinq types de vues : temporelle, image, carte, structure et vidéo. La vue temporelle offre la possibilité d'annoter différents types de sonagrammes. Le musicologue peut ainsi utiliser une représentation spectrale linéaire ou logarithmique, une matrice de similarité calculée à partir de l'image du spectre, des superpositions de sonagrammes ou un sonagramme différentiel. La vue en carte utilise aussi le sonagramme pour créer des tableaux, cartes ou graphiques à partir de fragments de l'œuvre, pratique très courante en analyse musicale [6].

Je ne détaillerai pas le sonagramme linéaire ou logarithmique puisqu'il est d'un usage très courant.

2.1. La superposition de sonagrammes

La superposition de plusieurs sonagrammes est d'une aide très précieuse dans l'analyse d'œuvres multiphoniques ou même simplement dans l'analyse d'œuvres stéréophoniques qui exploitent les mouvements de sons entre les deux voies du panoramique. Michael Clarke a été un des premiers à utiliser ce type de sonagramme pour l'analyse musicale de *Wind Chimes* de Denis Smalley [2].

La figure 1 représente un extrait d'une œuvre de Pierre Henry dans laquelle le compositeur crée une dialectique entre plusieurs sons isolés tant sur le plan temporel que sur leur position dans le panoramique. La rythmique spatiotemporelle ainsi créée est facilement observable avec ce type de sonagramme.

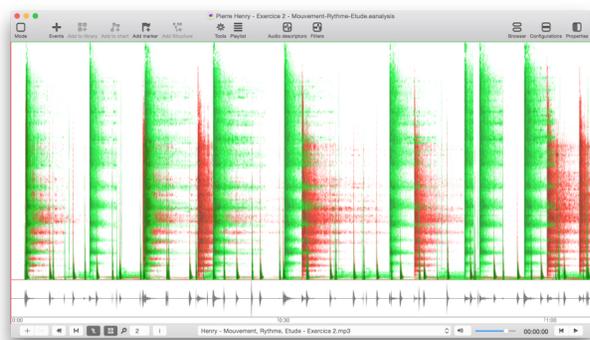


Figure 1. Superpositions de sonagrammes sur « Exercice 2 », extrait de *Mouvement-Rythme-Etude* de Pierre Henry.

La superposition de sonagrammes permet d'afficher les différences entre les canaux sans pour autant occuper un espace supplémentaire comme dans la juxtaposition de sonagrammes. Avec EAnalysis, il est possible d'ajouter autant de couches que l'utilisateur le souhaite, mais la lisibilité de la représentation peut devenir très limitée, notamment si les sonagrammes occupent les mêmes zones spectrales.

2.2. Le sonagramme différentiel

Le sonagramme différentiel met en évidence les parties nouvelles du spectre. Chouvel, Bresson et Agon ont montré l'usage de ce type de sonagramme pour l'étude de l'interprétation [1] : mise en évidence des différences de vibrato ou d'expressivité des tenues. Dans le domaine de l'analyse de la musique électroacoustique, la différence spectrale révèle des informations sur la nature du matériau (spectromorphologies), le montage et la nature des transformations spectrales. La figure 2 permet de visualiser la différence de traitement des spectromorphologies entre deux œuvres. Si le sonagramme du haut révèle une œuvre basée sur un matériau très mobile et contenant de nombreuses attaques abruptes, le sonagramme du bas indique un matériau inscrit dans la durée (zones noires importantes) et soumis à des transformations spectrales importantes (zones blanches).

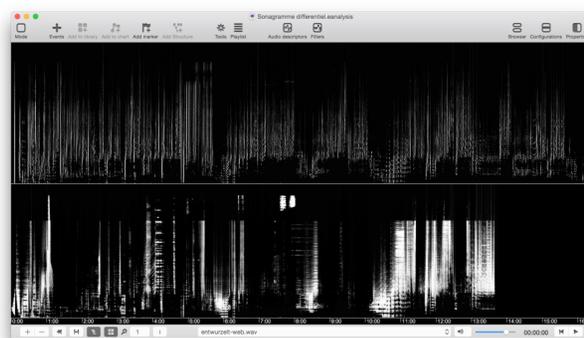


Figure 2. Sonagrammes différentiels à partir d'*Entwurzelt* d'Hans Tutschku (haut) et de *Necropolis-City of the Dead* d'Åke Parmerud (bas).

Afin de réaliser ce sonagramme, EAnalysis utilise le même tracé spectral superposé avec un décalage temporel, la différence étant prise en charge par un filtre graphique. Le décalage temporel est réglable en secondes:centièmes ce qui permet de l'adapter à la taille de grossissement utilisé dans la représentation.

2.3. La matrice de similarité à partir du spectre

Les matrices de similarité permettent de visualiser les similarités entre des listes de valeurs. Utilisée couramment dans la détection automatique de structures sur un corpus tonal ou modal, elle n'est que très peu utilisée dans l'analyse de la musique électroacoustique. Ramstrum [15] s'est basé sur les travaux de Peeters [14] afin d'analyser la structure d'extraits de *K...* de Philippe Manoury. Dans ce cas, la matrice a été calculée à partir d'un ensemble de descripteurs audio ² et est particulièrement adaptée à l'analyse d'œuvre utilisant un matériau harmonique.

2. Cette matrice a été récemment intégrée au logiciel Audiosculpt.

EAnalysis propose de réaliser trois types de matrices de similarité, l'une d'entre elles est calculée à partir du tracé linéaire du spectre. L'image du spectre est échantillonnée (figure 3) à l'aide de deux paramètres : l'unité temporelle et le nombre de bandes spectrales. Le logiciel convertit ensuite la teinte de chaque pixel en valeur numérique et calcule les distances à partir de la matrice obtenue. EAnalysis convertit alors la matrice de distance en niveaux de gris, une coloration en pseudo-couleurs est proposée à l'utilisateur et réalisée à l'aide d'un filtre graphique afin de rendre la matrice plus lisible.

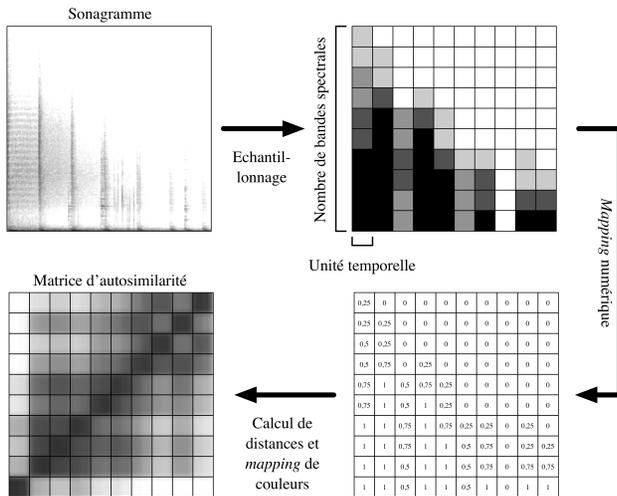


Figure 3. Principe de calcul de la matrice de similarité à partir du sonogramme.

La figure 5 représente le sonogramme (bas) et sa matrice de similarité (milieu) d'un extrait de *Son Vitesse-Lumière* de François Bayle. La matrice montre clairement les quatre phases (A-B-C-B') de l'évolution spectrale de la texture utilisée par le compositeur, phases qui sont peu visibles sur le sonogramme.

3. LA REPRÉSENTATION DES DESCRIPTEURS AUDIO

Les descripteurs audio commencent à être utilisés depuis quelques années en analyse musicale afin d'étudier le timbre, l'interprétation ou la structure musicale. Si de nombreux descripteurs ont été développés pour des usages aussi divers que la segmentation automatique, la reconnaissance de timbre ou l'étude acoustique des sons, peu d'entre eux donnent des résultats convaincants dans l'analyse de la musique électroacoustique. Dans une publication récente, j'ai présenté l'usage d'un ensemble de descripteurs permettant d'obtenir de bons résultats sur l'analyse d'un extrait de *Son Vitesse-Lumière* de François Bayle [7]. Je vais me concentrer ici sur l'utilisation des descripteurs dans EAnalysis et

les différents types de représentations permettant de les interpréter. En effet, une des grandes difficultés de l'usage des descripteurs en analyse musicale réside dans les représentations permettant de mettre en évidence les singularités, les similarités ou les corrélations sur plusieurs niveaux hiérarchiques.

3.1. Les descripteurs audio dans EAnalysis

EAnalysis propose d'utiliser les descripteurs de deux manières différentes. La première consiste à calculer les descripteurs dans un autre logiciel (comme Sonic Visualiser³), d'exporter le résultat en fichier TXT ou CSV sur deux colonnes (date temporelle, valeur) et d'utiliser la fonction d'importation de données intégrée au logiciel. La seconde possibilité permet d'utiliser le plugin vamp LibXtract⁴ développé par Chris Cannam et Jamie Bullock (figure 4). EAnalysis utilise l'outil en ligne de commande Vamp simple host afin de communiquer avec le plugin.



Figure 4. L'interface de sélection des descripteurs audio calculés avec le plugin LibXtract.

L'utilisateur a donc la possibilité de calculer rapidement une quarantaine de descripteurs sans sortir de l'application ou d'utiliser d'autres moyens de calcul afin d'ajuster précisément les paramètres et d'importer ensuite le résultat.

3.2. Les graphiques simples et avancés

EAnalysis offre la possibilité de réaliser des graphiques simples ou avancés en affichant directement les valeurs des descripteurs. La figure 6 présente trois de ces types de graphiques :

- une représentation simple d'un ou plusieurs descripteurs à l'aide de graphiques, de courbes en miroir ou de variations d'un dégradé de couleur ;

3. <http://www.sonicvisualiser.org>.

4. <http://www.vamp-plugins.org/download.html>.

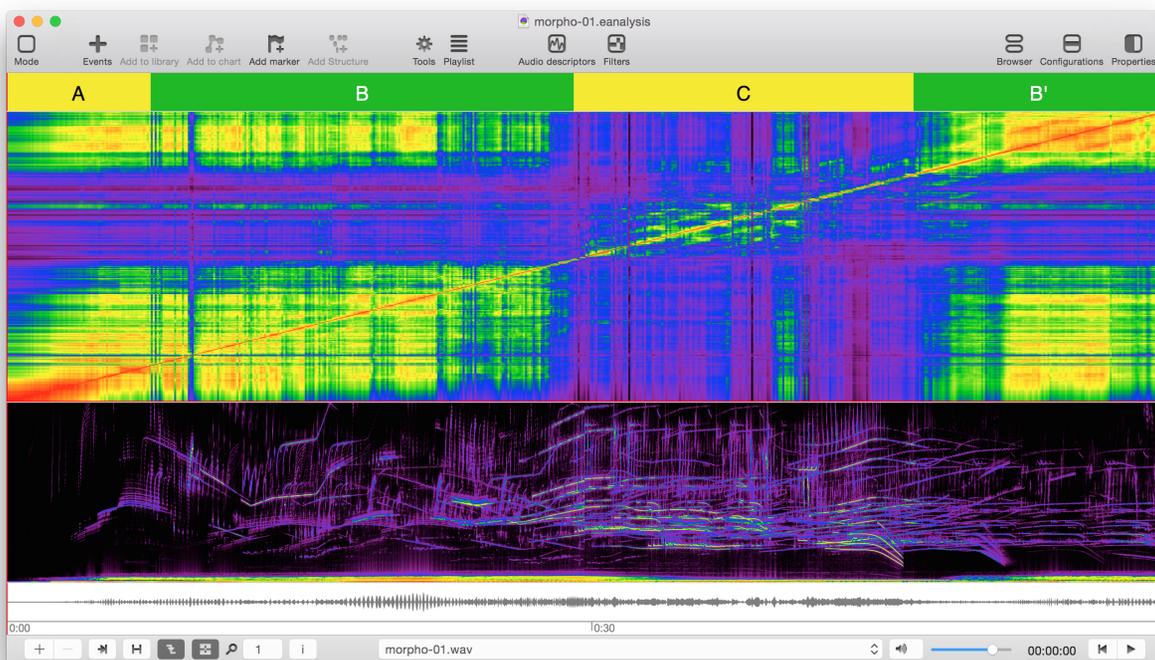


Figure 5. Structure (haut), matrice de similarité (milieu) et sonagramme (bas) à partir d'un extrait du début de *Son Vitesse-Lumière* de François Bayle.

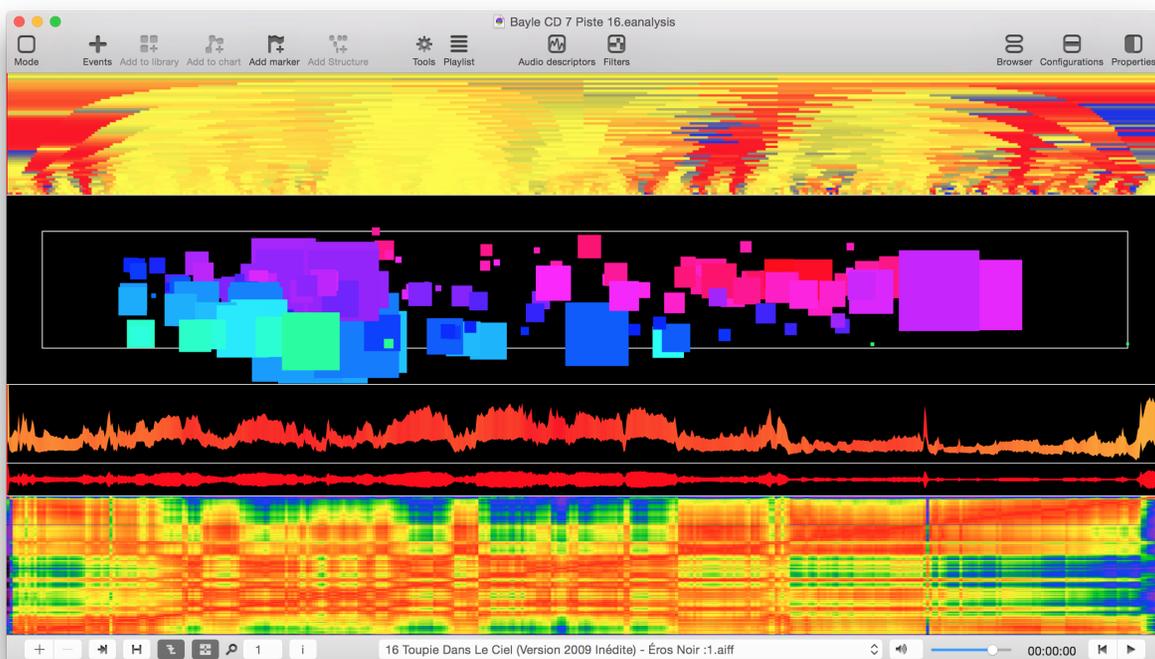


Figure 6. Cinq représentations de descripteurs audio à partir de « Eros noir 1 » extrait de *Toupie Dans Le Ciel* de François Bayle (de haut en bas) : corrélation hiérarchique, nuage de points, BSTD, simple miroir, matrice de similarité.

- une représentation sous la forme de nuage de points permettant de visualiser jusqu'à cinq descripteurs (X, Y, taille, couleur, opacité) et de superposer ou juxtaposer plusieurs graphiques ;
- une représentation permettant de visualiser trois descripteurs en une seule courbe afin de réaliser, par exemple, une courbe BStD [13] afin d'analyser l'évolution du timbre.

Deux autres types de représentation sont disponibles afin d'étudier la corrélation et la similarité.

3.3. Les matrices de similarité

La matrice de similarité apparaît comme une technique efficace pour identifier rapidement les relations de similarité ou les singularités d'un ou plusieurs descripteurs. EAnalysis permet de calculer deux types de matrices :

- une visualisation des similarités entre deux descripteurs extraits d'une même œuvre ou de deux œuvres différentes (sans calcul de DTW⁵) ;
- une matrice d'autosimilarité à partir d'un ou plusieurs descripteurs. Cette matrice offre la possibilité d'expérimenter des mélanges complexes de descripteurs.

Un exemple de matrice d'autosimilarité à partir des descripteurs de *rolloff*, variance et *loudness* apparaît en bas de la figure 6.

3.4. La corrélation hiérarchique

En complément de l'observation des similarités, la recherche de corrélations met en évidence des ressemblances morphologiques. L'usage courant est de regrouper les valeurs d'une liste par séries et de comparer l'évolution de ces séries. Ce calcul nécessite toutefois de choisir un niveau de regroupement et, par conséquent, d'être recalculé sur plusieurs niveaux afin de faire correspondre ces corrélations aux structures musicales ce qui peut devenir fastidieux et difficile à représenter. Le calcul de la corrélation hiérarchique [3] proposé pour l'étude de l'interprétation dans le projet de recherche Mazurka⁶ permet de résoudre cette difficulté. La figure 6 présente un exemple de ce type de graphique (en haut) réalisé ici entre la brillance (*centroid* spectral) et l'inharmonicité. Les zones rouges représentent une forte corrélation, les zones bleues une corrélation inverse et les zones jaunes une absence de corrélation. Cette représentation laisse entrevoir sur le plan vertical les différents regroupements de valeurs du plus petit (en bas) au plus large (en haut).

5. L'algorithme de DTW ou *Dynamic Time Warping* (déformation temporelle dynamique) permet d'aligner temporellement deux séries de valeurs en mesurant leur similarité.

6. <http://www.mazurka.org.uk>.

4. AUTRES FONCTIONS

En complément des représentations utilisant le sonagramme ou les descripteurs audio, j'aimerais présenter deux nouvelles fonctions très utiles en analyse musicale.

4.1. Le filtrage avec SuperVP

Depuis la version 1.1.1, EAnalysis est capable de communiquer avec SuperVP afin de calculer des modifications de gains sur des zones correspondant aux annotations. SuperVP (Super Vocodeur de Phase) est une technologie développée par l'équipe Analyse/synthèse de l'Ircam disponible sous la forme d'un outil en ligne de commande ou à travers Audiosculpt.

EAnalysis permet de choisir n'importe quelle annotation de type rectangle, polygone ou dessin à main libre afin d'appliquer une modification du gain (par filtrage ou par renforcement) et d'afficher immédiatement le résultat sans sortir du logiciel (figure 7). Cette fonction peut être utilisée pour supprimer une partie des sons afin d'améliorer la perception du reste du spectre ou pour faciliter la perception d'une zone spectrale d'intensité trop faible.

4.2. Représentations de la segmentation

Parallèlement aux représentations acoustiques, j'ai ajouté quatre types de représentations des structures linéaires (figure 8) :

- une représentation simple permettant d'éditer des lignes de structures et d'utiliser des couleurs afin de faciliter la visualisation de fragments identiques ou de durées similaires ;
- un diagramme formel mettant en évidence le déploiement de la structure dans le temps ;
- un diagramme en arc afin de visualiser les patterns identiques ;
- une matrice de similarité calculée à partir des noms donnés lors de la segmentation et permettant de représenter les distances entre chaque fragment.

Cet outil de représentation des structures est complété par un navigateur permettant d'afficher dans une fenêtre supplémentaire tous les éléments segmentés et de les écouter indépendamment.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, j'ai présenté les dernières évolutions du logiciel EAnalysis. Même si la version actuelle est très complète, il reste encore plusieurs développements à mener. Les trois principaux travaux se résument à l'amélioration des matrices de similarité, la représentation de structures non linéaires et la création de représentations spécifiques à certains descripteurs.

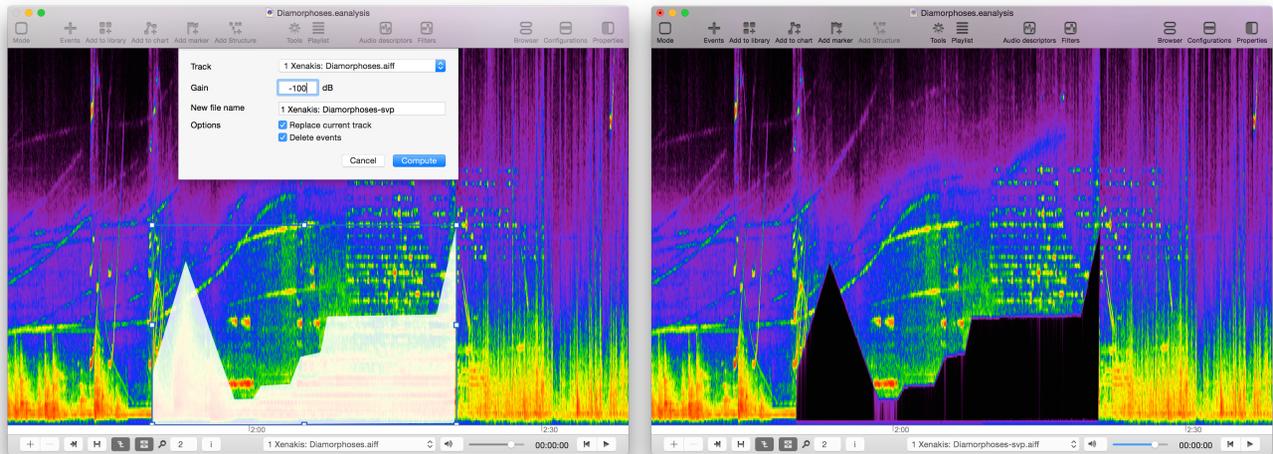


Figure 7. Utilisation de superVP afin d'appliquer un filtre à partir d'une annotation de type polygone et résultat après le calcul.

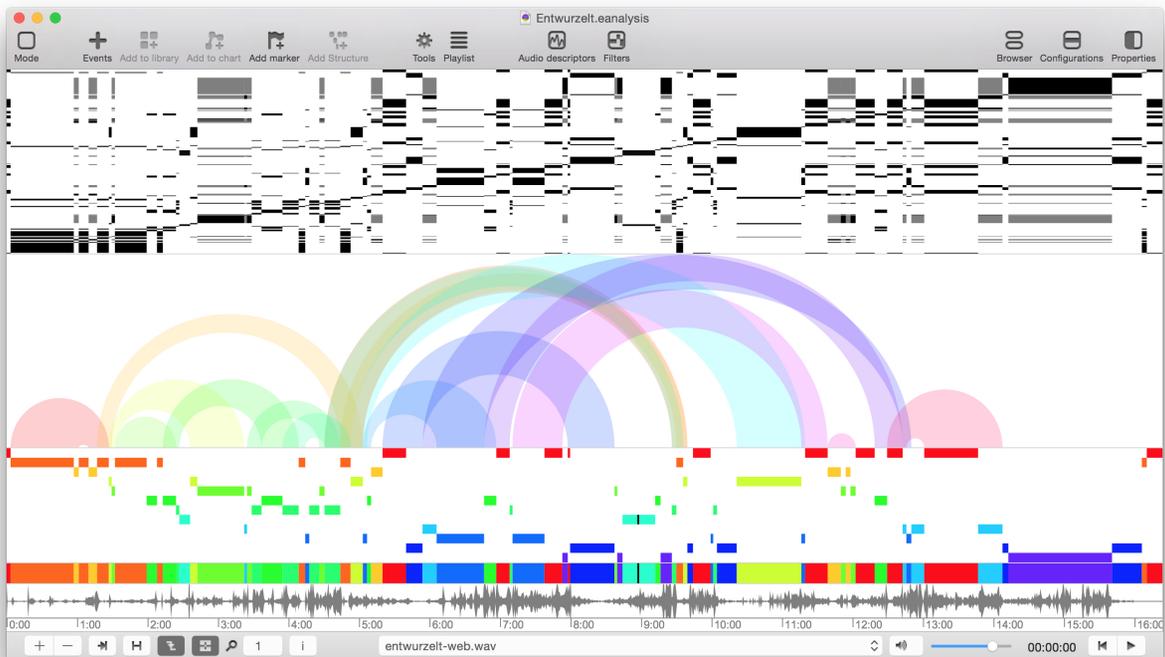


Figure 8. Quatre types de représentations des structures linéaires à partir de *Entwurzelt* d'Hans Tutschku (de haut en bas) : matrice de similarité, diagramme en arc, diagramme formel, linéaire simple (couleur en fonction du titre).

Le calcul des matrices de similarité reste incomplet pour l'analyse comparative. L'ajout d'un algorithme de *Dynamic Time Warping* (DTW) permettra de synchroniser des descripteurs calculés à partir de différentes versions d'une œuvre ou les différents canaux d'une œuvre multiphonique, voire d'œuvres différentes. Cet algorithme facilitera aussi la synchronisation de la lecture des pistes.

Dans le domaine de l'analyse de la structure musicale, la représentation linéaire est bien souvent insuffisante, et ce particulièrement pour la création actuelle. Par exemple, une structure en rhizome [9] ou en tuiles [12] permettraient de mieux rendre compte de la polyphonie et de la polysémie des structures musicales en électroacoustique. Le développement d'un outil de représentation de structures non linéaires s'avère donc indispensable.

Certains descripteurs audio nécessitent un type de représentation spécifique, par exemple, le vecteur de chroma qui permet de visualiser l'évolution du poids des 12 demi-tons ou les MFCCs (*Mel-frequency cepstral coefficients*) mesurant l'énergie du spectre par bandes de fréquences. Ce type de données ne peut pas encore être importé et visualisé dans EAnalysis.

Parallèlement à ces trois nouvelles fonctions, plusieurs améliorations du logiciel restent à réaliser. Ainsi, le résultat des matrices de similarité n'est pas sauvegardé et nécessite un calcul à chaque ouverture d'un projet qui en contient. La sauvegarde des données permettra d'accélérer l'ouverture de certains projets réalisés sur des œuvres longues. De même, il conviendrait d'automatiser un certain nombre de paramètres en fonction de la durée de l'œuvre ou de la taille d'affichage.

Enfin, EAnalysis a été développé en parallèle à iAnalyse⁷, conçu pour l'aide à l'analyse de musique écrite. L'évolution naturelle sera donc de réunir les deux logiciels en un seul.

6. REFERENCES

- [1] Chouvel, J.M., J. Bresson, and C. Agon « L'analyse musicale différentielle : principes, représentation et application à l'analyse de l'interprétation », *Electroacoustic Music Studies Network*, Leicester, Angleterre, 2007, <http://jean-marc.chouvel.3.free.fr/Flash/ArticleTFDHTML/index.html>.
- [2] Clarke, M., « *Wind Chimes* », *Portrait polychrome Denis Smalley*, INA-GRM, Paris, France, 2010, http://www.institut-national-audiovisuel.fr/sites/ina/medias/upload/grm/minisites/smalley/co/Wind_chimes.html.
- [3] Collectif, « Hierarchical Correlation Plots », King's

College, Londres, 2009, <http://www.mazurka.org.uk/ana/timescape/>.

- [4] Couprie, P., « Graphical representation : an analytical and publication tool for electroacoustic music », *Organised Sound*, Cambridge University Press, vol. 19 (1), Cambridge, Grande Bretagne, 2004, p. 109-113.
- [5] Couprie, P., « EAnalysis : aide à l'analyse de la musique électroacoustique », *Actes des Journées d'informatique musicale*, Mons, Belgique, 2012, p. 183-189.
- [6] Couprie, P., « Cartes et tableaux interactifs : nouveaux enjeux pour l'analyse des musiques électroacoustiques », *Actes des Journées d'informatique musicale*, Paris, Université Paris 8, 2013, p. 97-102.
- [7] Couprie, P., « Voyage dans "Grandeur nature", première partie de *Son Vitesse-Lumière* de François Bayle », in *Son Vitesse-Lumière*, Magison, Paris, France, 2015, en préparation.
- [8] Delalande, F., *Analyser la musique, pourquoi, comment ?*, INA, Paris, 2013.
- [9] Deleuze, G., F. Guattari *Mille plateaux*, Minuit, Paris, 1980.
- [10] Di Santo, J-L., « Harmonic profile : typology and notation », *Electroacoustic Music Studies Network*, New York, 2011, http://www.ems-network.org/IMG/pdf_EMS11_di_santo.pdf.
- [11] Grabócz, M., *Entre naturalisme sonore et synthèse en temps réel. Images et formes expressives dans la musique contemporaine*, Archives contemporaines, Paris, 2013.
- [12] Janin, D., « Programmer avec des tuiles musicales : le t-calcul en euterpea », *Actes des Journées d'informatique musicale*, Bourges, Ecole nationale supérieure d'art, 2014, p. 47-56.
- [13] Malt, M., and E. Jourdan, « Le BStD - Une représentation graphique de la brillance et de l'écart type spectral, comme possible représentation de l'évolution du timbre sonore », *L'analyse musicale aujourd'hui, Crise ou (r)évolution ?*, Strasbourg, France, en préparation.
- [14] Peeters, G., « Sequence Representation of Music Structure Using Higher-Order Similarity Matrix and Maximum-Likelihood Approach », *ISMIR*, Vienne, Autriche, 2007, p. 35-40.
- [15] Ramstrum, M., « Philippe Manoury's Opera K... », *Analytical Methods of electroacoustic music*, Routledge, New York, USA, 2006, p. 239-274.
- [16] Roy, S., *L'analyse des musiques électroacoustiques : modèles et propositions*, L'Harmattan, Paris, 2003.
- [17] Rix, E., Formosa M., *Vers une sémiotique générale du temps dans les arts*, Ircam/Delatour, Paris, 2008.
- [18] Schaeffer, P., *Traité des objets musicaux*, Seuil, Paris, 1966.

7. iAnalyse est un logiciel gratuit pour Macintosh OS10.7 ou supérieur disponible sur le site : <http://ianalyse.pierrecouprie.fr>.

- [19] Schafer, M., *Le paysage sonore*, Jean-Claude Lattès, Paris, 1979.
- [20] Smalley, D., « Spectromorphology : explaining sound-shape », *Organised Sound*, Cambridge University Press, vol. 2 (2), Cambridge, Grande Bretagne, 1997, p. 107-126.
- [21] Thoresen, L., « Spectromorphological analysis of sound objects : an adaptation of Pierre Schaeffer's typomorphology », *Organised Sound*, Cambridge University Press, vol. 12 (2), Cambridge, Grande Bretagne, 2007, p. 129-141.