

# LA MATRICE TRIANGULAIRE, UNE GRILLE TEMPORELLE DYNAMIQUE POUR LA COMPOSITION, L'INTERPRETATION ET L'ANALYSE

Josselin Minier

IDEAT

josselin.minier@hotmail.fr

## RÉSUMÉ

Comment considérer, dans un cadre musical complet, le problème du successif et du simultané ; ou plutôt, comment comprendre le simultané, en tant que phénomène émergeant du successif ?

Est envisagée une alternative à l'habituelle configuration de séquençage *matériau/temps* caractérisant l'interface de nombreux logiciels de création musicale. Le plan temporel s'apparente ici à une opposition à 90° d'un axe actuel et d'un axe virtuel, représentable par une « matrice de transfert » développant, perpendiculairement au temps linéaire, un tampon mémoriel autorisant la rétention de l'évènement passé dans une trace virtuelle actualisable en tout moment. Le matériau n'est donc pas posé *a priori*, mais se développe en tant que groupement de traces virtuelles émises par des évènements actuels. Un tel dispositif permet d'appréhender le déploiement temporel d'évènements, ce qui caractérise aussi bien l'activité de la composition que l'interprétation musicale.

La matrice de transfert peut ainsi être utilisée pour gérer des effets de filtrage temporel (granulation, délai, réverbération, *flanger*...), de transformation temporelle (*pitchshifting* et *timestretching*, ici réinterprétés sous le terme *timeshaping*), mais elle est aussi utilisée pour gérer le déploiement des effets dans le temps, et même pour effectuer une synthèse sonore dans un cadre purement temporel.

## 1. MANIPULATION SEQUENTIELLE

Une séquence (du latin *sequor* : suivre) implique une succession temporelle d'évènements ; selon le terme composition, l'acte de création musicale s'interprète comme une juxtaposition conjointe dans le temps d'évènements, qui prennent généralement la forme de notes. La composition pourrait alors se résumer à la génération de séquences posées les unes contre les autres, selon une structure préétablie ou qui s'établit, c'est-à-dire qui apparaît sur la table de travail. Cependant, dans nos représentations techniques, la dimension du successif est aussi développée verticalement par la simultanéité, qui accumule des strates séquentielles. Ces strates peuvent être déterminées par une caractéristique principale récurrente – un matériau à séquençer. Peu de représentations musicales échappent à ce plan matériau/temps : la

partition, qui accumule les instruments ; le spectrogramme, qui accumule les fréquences ; le séquenceur multipiste, qui accumule les signaux sonores. Le séquençage peut se représenter en une matrice matériau/temps, dans laquelle sont pointés des évènements ayant un début et une fin, la fin d'un évènement ne concordant pas nécessairement avec le début du suivant. Cette configuration matricielle implique nécessairement quatre aspects temporels, dénombrables par dérivation différentielle des points de la matrice. L'évènement se situe entre deux *moments*, dont la différence correspond à l'épaisseur de *durée*. La différence entre les moments de début de deux évènements sera appelée *distance*, et la différence de durée des évènements, *écart*. Ces quatre aspects – moment, durée, distance et écart – sont primordiaux et permettent de cerner convenablement la temporalité d'un flux évènementiel, ce qui semble important en musique<sup>1</sup>.

Si le séquençage matériau/temps, tel qu'il a précédemment été décrit, dévoile parfaitement les moments et permet de les situer les uns par rapport aux autres (avant/pendant/après), il impose toutefois l'utilisation d'une grille statique lors du repérage des autres aspects temporels ; loin d'être intuitive, cette grille doit être calculée en fonction d'une quantification métrique. Contrairement au geste instrumental, dont le mouvement entre des points spatiaux est dirigé intuitivement par l'habitude, le geste du séquençage a la nécessité du calcul de rapports temporels, parfois lourd et nuisible au mouvement créatif. Il en va de même pour le musicologue, dont les intuitions analytiques peuvent être bloquées par une imposante charge de calcul temporel et de constructions de grilles quadrillant un matériau musical défini, ou même, dans le pire des cas, prédéfini. La définition du matériau semble d'ailleurs être privilégiée au détriment de la complétude du temps par le séquençage – sélection des instruments, des notes, des sons, des effets ou des *presets*... C'est alors oublier que ce matériau musical est déjà lui-même constitué de rapports temporels de niveau inférieur (cf. la relation fractale *objet-structure* de Pierre Schaeffer).

<sup>1</sup> Dans [1], le musicologue Jean-Marc Chouvel démontre l'importance du temps musical par un algorithme de simulation cognitive de la construction de l'écoute, visuellement représentable par une matrice matériau-temps.

Une limitation du séquençage matériau-temps provient donc d'une non-explicitation des rapports temporels, réduisant la maniabilité et l'interactivité intuitive, ce qui semble mettre en cause l'ergonomie même de ce plan de travail pourtant fortement répandu. Depuis la fin des années 1990, la structuration musicale est souvent recherchée par l'intermédiaire de la matrice de similarité, telle qu'introduite par J. Foote [2], utilisée pour effectuer une segmentation [3] ou un résumé d'un morceau [4] (un état de l'art récent est proposé dans [5]). La matrice de similarité monte sur ces deux axes le même signal, en effectuant point par point un calcul grossièrement résumable à la différence entre la valeur d'un point de l'axe  $x$  et celle d'un point de l'axe  $y$  – à noter que le signal n'est généralement pas brut, mais transformé en descripteurs audio, enveloppes spectrales, MFCC, chromagrammes, rhythmogrammes, en paramètres statistiques, etc. Sans nous occuper du type de signal utilisé, la configuration de la matrice de similarité offre la possibilité de dépasser l'aspect séquentiel du signal – celui-ci étant définissable comme succession d'échantillons –, en confrontant directement différents moments. Ainsi, la valeur de signal, située sur l'axe horizontal, est confrontée à toutes les autres valeurs en chaque point de la ligne correspondante, alors qu'une valeur située sur l'axe vertical le sera en sa colonne. Un même moment du signal a donc une valeur à la fois comparée aux autres – une autre valeur lui est soustraite – et comparant les autres – elle est soustraite d'une autre valeur –, ce qui fait que les sous-triangles, divisant la matrice en deux, représentent la confrontation des mêmes valeurs, mais dans un ordre de comparaison inversé : les différences sont elles aussi inversées ; les deux triangles proposent en fait la même information, ce qui explique que la pratique n'en garde parfois qu'un seul. Cette configuration est une première étape dans la considération de tous les rapports temporels, car, si chaque moment peut être comparé aux autres, il devrait être possible de comparer cette comparaison et d'au moins déterminer les durées et les distances. Cependant, ces derniers rapports semblent difficilement repérables entre eux, puisqu'ils n'ont pas d'axe particulier auquel se référer. Les rapports temporels restent donc encore principalement circonscrits au déroulement séquentiel du temps : celui de la *timeline*, qui est ici dédoublée en deux axes.

## 2. UN PRINCIPE DE TRANSFERT TEMPOREL : LE TIMELAG PLUTOT QUE LA TIMELINE

L'information contenue dans une matrice de similarité se trouve principalement dans les blocs à forte valeur de similarité, ce qui indique une répétition dans la structure du signal, à un niveau local. Les diagonales de similarité, plus particulièrement, dévoilent une « non-similarité »<sup>2</sup> locale d'une suite de valeurs différentes

<sup>2</sup> Plutôt que de similarité, il serait plus cohérent de parler de non-différence ou même de faible différence, puisque le signal sonore se répète rarement de manière parfaite, d'autant qu'une différence essentielle intervient entre deux segments « similaires » : leur localité.

qui, elle, se répète à un niveau structurel supérieur. Les durées de diagonales similaires peuvent être évaluées comparativement, puisque ces diagonales se situent sur une même ligne ou une même colonne de la matrice. Les durées des diagonales non-similaires, ne partageant pas de coordonnées, semblent difficilement comparables en termes de durées. C'est peut-être là un travers de cette représentation, qui favorise la découverte de répétitions linéaires d'éléments structurels, tout en écartant les variations.

La confrontation de durées et de distances nécessite un axe dédié non pas au moment, comme c'est le cas dans une *timeline*, mais à la différence entre moments, c'est-à-dire la durée. Une autre forme de matrice développe un axe vertical que l'on pourrait qualifier de *timelag*, puisqu'élaboré par un décalage temporel. Ce n'est plus le moment qui est représenté, mais bien la durée de décalage. La matrice de forme triangulaire se construit en fait selon un principe cognitif de rétention mémorielle de l'information, qui n'est pas sans rappeler les diagrammes temporels d'Husserl<sup>3</sup>, ou la construction de l'épaisseur du présent dans la synthèse temporelle de Bergson, ensuite reprise par Deleuze<sup>4</sup>. L'axe horizontal représente une *timeline* ordinaire, où chaque moment est prolongé dans les moments suivants, tout en s'en différenciant sur l'axe vertical. Chaque moment de la *timeline* est conservé au niveau du moment suivant en se décalant sur le *timelag*, selon un transfert continu formant une diagonale, comparable à une trace mémorielle conservant le moment passé. Au niveau cognitif, le transfert est susceptible d'entraîner une dégradation de la trace, ce qui constitue, nous le développerons ensuite dans le cadre des effets sonores, une configuration intéressante et dynamique de la matrice triangulaire.

Calcul d'un point de la matrice à partir du *timelag* :

$$M(t, d) = m_{t-d}$$

$M$  étant la matrice sur un plan temps/durée ( $T/D$ ), et  $m$  le moment qu'un point de la matrice représente. Une ligne verticale représente les moments actuels  $t$ , une ligne horizontale représente les durées de décalages  $d$ , et une ligne diagonale représente les moments virtuels  $t - d$ , c'est-à-dire qu'en un moment actuel en  $t$  est transféré un autre moment passé selon un décalage  $d$ . Puisque l'axe  $D$  est celui des durées, l'espace, dans la matrice, entre deux moments actuels est égal à la durée en  $D$ , formant ainsi un triangle rectangle en son angle bas droit – représentant le moment actuel de perspective –, dont l'hypoténuse relie l'angle bas gauche

Donc « similaire » ne signifie pas « identique », et encore moins « même ». Pour ces considérations plus philosophiques, nous renvoyons à Gilles Deleuze.

<sup>3</sup> Remercions Gérard Assayag et Jean-Marc Chauvel de nous avoir présenté les similitudes entre la matrice triangulaire et les diagrammes husserliens.

<sup>4</sup> L'aspect cognitif et philosophique de la construction de la matrice triangulaire est développé dans [6] et [7].

– représentant le moment actuel inspecté –, et l'angle du haut – le moment virtuel, point de rencontre entre les deux moments actuels –. Autrement dit, le moment de perspective correspond à un *présent*, le moment inspecté, à un *passé*, et le moment virtuel peut donc être considéré comme un *passé dans le présent*.

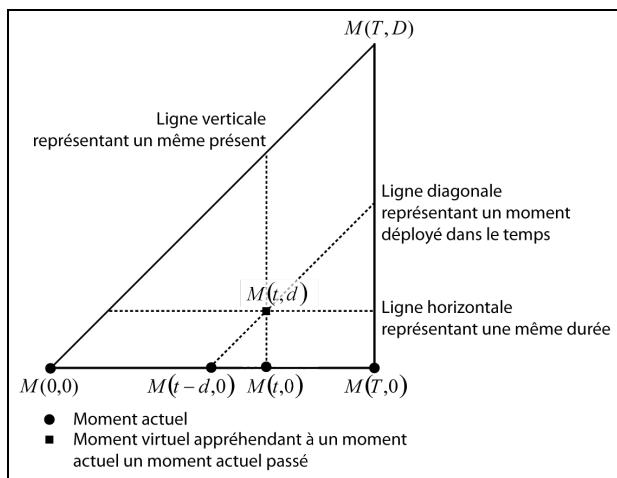


Figure 1. Plan d'une matrice triangulaire.

Dans la figure 1, une matrice triangulaire est construite sur un rapport temporel simple. Sur la *timeline* – la ligne horizontale du bas de la matrice, en  $M(T)$ , représentant l'actualité du temps –, sont disposés des moments se succédant conjointement. Un moment actuel inscrit dans la matrice en  $M(t,0)$  peut appréhender un moment  $M(t-d,0)$  qui lui est passé de la durée  $d$ ; le rapport entre ces deux moments étant inscrit dans la matrice en  $M(t,d)$ , une diagonale relie ce point au point  $M(t-d,0)$ , représentant ainsi le parcours dans le temps d'un moment  $t-d$  jusqu'à  $t$ . De chaque moment actuel se déploie donc une diagonale le représentant virtuellement dans son futur. Cette diagonale croise des droites verticales reliant  $M(t,0)$  à  $M(t,d)$ , et représentant des moments virtuels compris à un moment actuel ; à l'intersection d'une diagonale et d'une droite verticale peut être effectuée une opération sur des valeurs des deux moments pointés, rapprochant ainsi la matrice triangulaire d'une matrice de similarité. Mais cette intersection a aussi une valeur hors de celle des moments, puisqu'elle détermine le *lag*, le décalage, c'est-à-dire la durée de l'évènement encadré. De la même manière, peut être déterminée la distance entre évènements, ainsi que la distance réduite, comprise entre un moment de fin d'un évènement et un moment de début d'un autre (figure 2). Ces rapports temporels peuvent être examinés facilement grâce à l'axe du *timelag* qui permet de classer les durées en fonction de leur hauteur. L'écart de durée de deux évènements est alors déterminé par l'espace compris entre une intersection représentant une durée, et une droite horizontale passant par une intersection représentant une durée inférieure.

Des sous-triangles sont tracés dans la matrice de la figure 2, pour représenter une similarité de l'espace temporel. Une application informatique pourrait permettre de transférer des triangles pour comparer ou modifier la temporalité de la séquence, en les faisant simplement glisser par geste. D'ailleurs, puisque les sous-triangles composant la matrice sont nécessairement rectangles isocèles, ils peuvent être construits ou modifiés en calibrant simplement l'étendue de la diagonale formant leur hypoténuse, ce qui autorise une manipulation rapide. Cette manipulation peut alors être qualifiée de vectorielle, et opposée en cela à la manipulation purement matricielle du séquençage traditionnel – cette opposition fait directement référence à celle entre le dessin matriciel manipulant des pixels, et le dessin vectoriel manipulant des vecteurs.

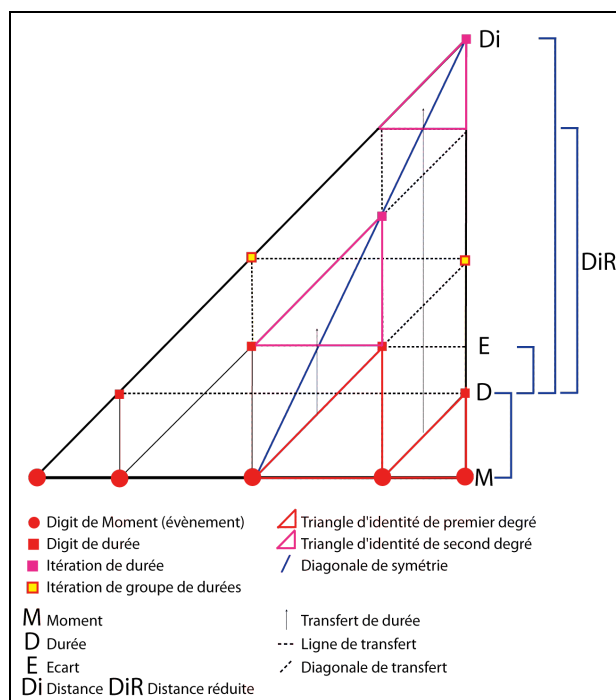


Figure 2. Matrice triangulaire – exemple d'analyse d'une séquence temporelle.

L'aspect vectoriel comporte un avantage, qui est celui de la scalabilité. Les vecteurs permettent de sélectionner ou de conserver différents rapports temporels sur différentes échelles. Les tables d'ondes<sup>5</sup> utilisées pour la granulation du signal, ainsi que les séquenceurs de type Cubase et ProTools, posent un problème de manipulation de rapports temporels et de scalabilité. Dans la version élémentaire d'un séquenceur, la modification (manuelle) uniforme des rapports temporels d'une séquence, formée de blocs de signal, impose une modification proportionnelle de la grille de tempo ; seule la distance entre les blocs doit être modifiée, indépendamment de leur durée ; les blocs nouvellement espacés doivent ensuite être conservés

<sup>5</sup> Une table d'onde peut être appréhendée en tant que fragment de signal séquencé sur une *timeline*.

sans aucune modification, alors que la grille de tempo revient quant à elle à sa valeur d'origine. Une telle manipulation (par exemple le *Time Warp* dans Cubase) est couteuse et parfois rébarbative, alors que la modification est uniforme. Dans une matrice triangulaire, elle pourrait être simplement effectuée par un glisser-écarter agrandissant les triangles d'une matrice triangulaire. Bien plus encore, dans un séquenceur traditionnel, une interpolation entre deux séquences n'est pas directement effectuable manuellement, puisque les rapports temporels ne sont pas explicites. L'interpolation de séquences, permettant de passer de l'une à l'autre de manière progressive, peut s'opérer en reliant les triangles et en les transférant graduellement, c'est-à-dire selon une graduation déterminée par une sous-grille à pas constant ou variable, la variation du pas étant elle-même précisément définissable par vecteur.

### 3. MANIPULATION VECTORIELLE

La manipulation vectorielle peut s'exprimer plus conventionnellement grâce à quelques formules comparables à celles utilisées en traitement du signal. Sur une matrice  $T/D$ , l'opération de base, calculant la différence entre des points de la matrice, peut s'écrire :

$$M_{diff}(t, d) = m_t - m_{t-d}$$

où  $m_t$  est le point actuel et  $m_{t-d}$  le point virtuel transféré. Un effet de délai peut alors en être simplement déduit pour chaque point de la matrice :

$$M_{del}(t, d) = m_t + m_{t-d}$$

où  $d$  correspond à la durée du délai. Il est possible de pondérer les différents moments par un coefficient  $\alpha = [0;1]$  :

$$M_{del}(t, d) = (1 - \alpha)m_{t-d} + \alpha m_t$$

On retrouve bien là la structure des filtres RIF (Réponse Impulsionnelle Finie) servant à l'élaboration des délais simples. Une réponse impulsionnelle infinie (RII), permettant la construction de délais récursifs, peut être obtenue en mettant en rapport un moment du signal brut et un point précédant de matrice, c'est-à-dire en intégrant par réinjection la sortie du précédant calcul :

$$M_{del}(t, d) = (1 - \alpha)M_{del}(t - d, d) + \alpha m_t$$

où  $M_{del}(t - d, d)$  correspond à un point de la matrice précédemment calculé.

Une utilisation en temps réel de la matrice triangulaire<sup>6</sup>, développée dans le logiciel Pure Data, permet de manipuler un fichier sonore numérique, en contrôlant la temporalité de lecture par le biais de vecteurs. Les configurations vectorielles se rapprochent ainsi de divers effets traditionnellement utilisés en traitement du signal<sup>7</sup>, bien qu'elles n'en fournissent qu'une version simplifiée, mais ergonomiquement intéressante et propice à l'imagination.

Un triangle de lecture peut ainsi glisser sur le vecteur (droite rouge, en figure 3), tel que celui tracé sur la matrice 1 de la figure 3, pour construire un délai simple, dont la durée est déterminée par la position de la ligne en fonction du *timelag*. À chaque moment de la ligne, sont lus simultanément l'échantillon du signal situé au même moment, ainsi que l'échantillon passé, pointé par la diagonale du triangle.

Une simple interpolation permet de calculer le vecteur :

$$V(t, d) = (t - deb_T) \frac{fin_D - deb_D}{fin_T - deb_T}$$

$fin_D - deb_D$  correspond à l'espace en  $D$  du vecteur,  $fin_T - deb_T$  à son espace en  $T$ , et  $(t - deb_T)$  à la situation du moment  $t$  du calcul dans ce dernier espace. Puisque la hauteur en  $D$  renvoie à un moment passé, celui correspondant à un point du vecteur peut simplement être trouvé en soustrayant la valeur  $d$  du moment  $t$  du vecteur :

$$V(t, d) = (t - deb_T) \frac{fin_D - deb_D}{fin_T - deb_T} - d$$

Une manipulation en temps réel de la hauteur de la ligne permet de modifier la durée du délai, alors qu'une inclinaison de la ligne modifie le pas de lecture des échantillons, et donc la vitesse. En effet, comme le montre la matrice 2, plus la pente est négative, plus la vitesse est élevée, et inversement, ce qui s'explique par le fait que la totalité du segment original est lue sur une durée plus réduite. Comme le montre la matrice 3, plusieurs vecteurs peuvent être ajoutés, permettant de réitérer plusieurs fois un événement, comme le contrôlerait le *feedback* d'un délai à réinjection. Cependant, contrairement au délai, la matrice permet de manipuler indépendamment chaque vecteur – et donc chaque itération –, que ce soit en durée ou en vitesse. La manipulation d'un sous-vecteur peut aussi modifier le rapport entre un ensemble de vecteurs (matrice 4).

<sup>6</sup> Voici quelques liens vers des vidéos de démonstrations et d'improvisations par matrice triangulaire en configuration *live* simplifiée : [www.dailymotion.com/Josselin\\_Minier](http://www.dailymotion.com/Josselin_Minier)

<sup>7</sup> Des effets numériques sont décrits dans une thèse de traitement du signal s'intéressant principalement à leur aspect adaptatif [8].

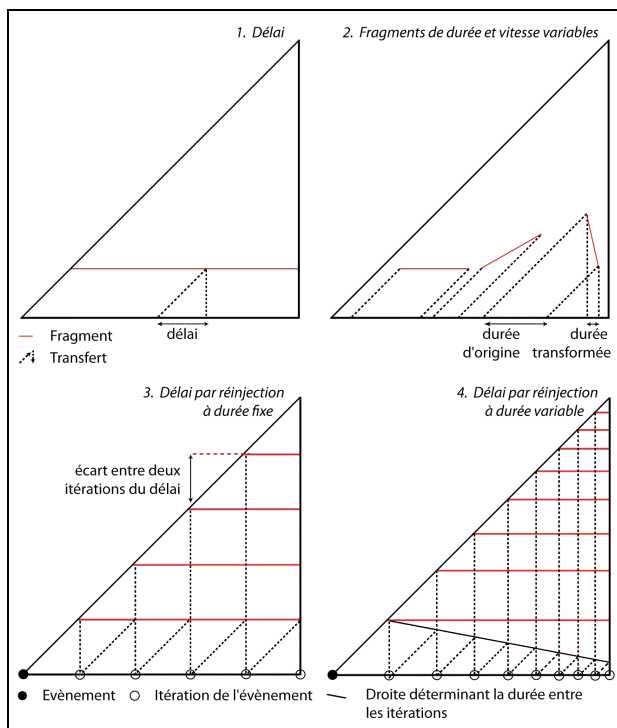


Figure 3. Matrices triangulaires – lecture d'une table (*wavetable*, table d'effets).

Si une lecture « à deux têtes » est possible, l'une correspondant au moment de la diagonale du triangle et l'autre au moment de la droite verticale, nous pouvons aussi bien choisir de n'utiliser qu'une seule « tête de lecture ». Par exemple, une réitération d'un segment s'effectue avec une seule diagonale, dirigée par une figure en escalier à marches de durées constantes (matrice 5). Cette durée de réitération peut être modulée par un sous-vecteur contrôlant les bords des marches (matrice 6). Si aucun de ces sous-vecteurs de bord de marche ne correspond à une diagonale, la réitération se décalera au fur-et-à-mesure, aboutissant ainsi à un effet similaire à un *timestretching*, qui ne s'occuperait pas encore des problèmes de pondération du fenêtrage des segments et ne respecterait pas la phase. Utilisons le terme *timeshaping*, puisque cela introduit une distorsion du signal, tout comme le fait le *waveshaping*, dans le domaine de l'intensité. Peuvent cependant être aisément ajoutées des fonctions de chevauchement (comparable à l'*overlapping*) et de pondération de fenêtrage. Enfin, complétons les possibilités offertes par la matrice triangulaire avec une fonction d'interpolation entre fragments déterminés par différents vecteurs.

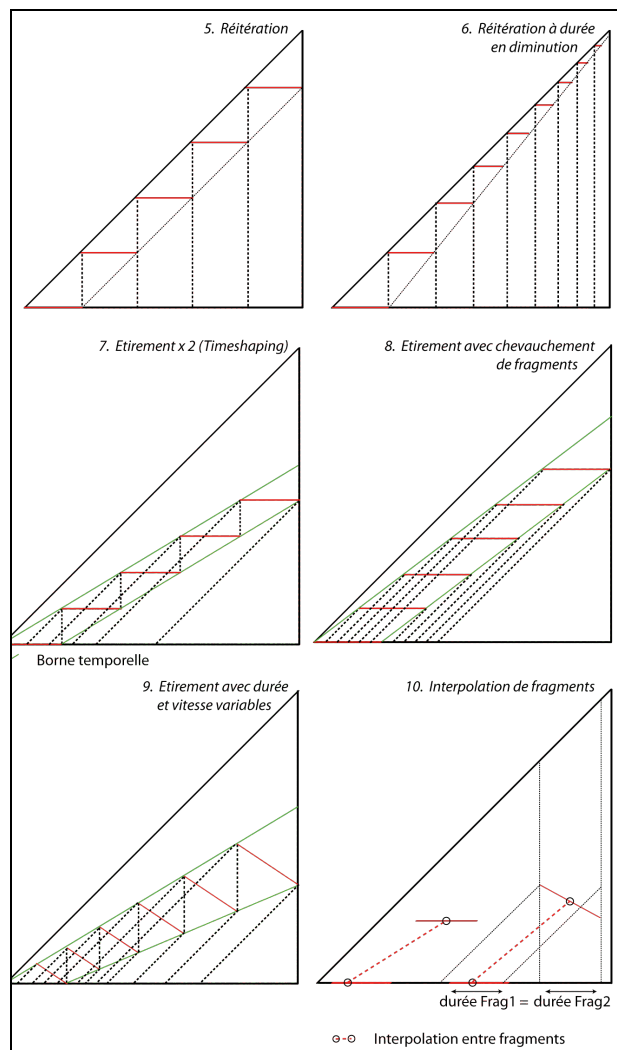
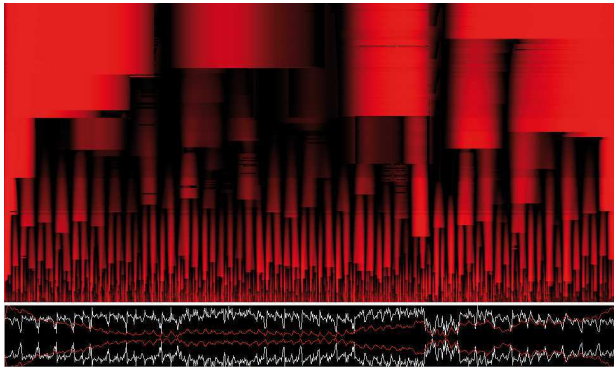


Figure 4. Matrices triangulaires – 2.

#### 4. CONCLUSION

Se posant en alternative du séquençage par matrice matériau-temps n'explicitant pas pleinement les rapports temporels et limitant en cela les manipulations temporelles envisageables, la matrice triangulaire permet de concevoir une construction musicale plus proche du temps – celui développé par Bergson, Husserl et Deleuze –. Diverses figures temporelles s'approchant des filtres utilisés en traitement du signal sont rapidement traçables à la manière du dessin vectoriel. Cette utilisation de vecteurs orientant la lecture de fragments sonores offre de multiples possibilités de manipulation et permet une représentation efficace des méthodes granulaires ou à table d'ondes ; et, dans un rôle similaire à celui des procédures de classements d'éléments sonores dans les méthodes par concaténation, une contrainte peut prédéfinir l'allure des vecteurs. Un exemple de contrainte peut être donné, sans développer outre mesure : une première analyse multi-échelles du signal permet de générer une matrice de fragmentation (*cf.* figure 5) dans laquelle chaque ligne horizontale regroupe des enveloppes aux bornes représentant les début et fin des fragments du signal. Un

vecteur peut donc suivre ces lignes de la matrice, ou suivre un parcours de fragments à définir, les clics parasites de transition étant éliminés en multipliant le fragment de signal par l'enveloppe correspondante.



**Figure 5.** Matrice de fragmentation du signal, aussi appelée « matrice en orgue »<sup>8</sup>, représentant des enveloppes de fragments (« Cocoon », *Vespertine*, Björk, 2001) ; des vecteurs de matrice triangulaire peuvent suivre une ligne ou un parcours de fragments.

Enfin, notons que les vecteurs semblent d'autant plus intéressants qu'ils sont indépendants de la nature des données. Si l'utilisation proposée dans cet article se concentre sur le signal sonore numérique, les données manipulables sous cette configuration triangulaire peuvent aisément s'étendre aux courbes d'automation paramétrant les effets utilisés dans les logiciels de création sonore, de composition et d'interprétation musicale. Les capacités de réalisation intuitive de calculs sur le temps, par tracé de vecteur et transfert de triangle, autorisent aussi une utilisation musicologique visant à la compréhension de la construction temporelle de la musique.

## 5. REFERENCES

- [1] Chouvel, J-M. *Analyse musicale. Sémiologie et cognition des formes temporelles*. L'Harmattan, Paris, 2006, 314 p.
- [2] Foote, J. "Visualizing Music and Audio using Self-Similarity", Proceedings of ACM Multimedia, Orlando, USA, 1999, pp. 77-80.
- [3] Jensen, K. "Multiple Scale Music Segmentation Using Rhythm, Timbre, and Harmony", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Heidelberg, Germany, 2007, 11 p.
- [4] La Burthe, A. ; Peeters, G. ; Rodet, X. "Toward Automatic Music Audio Summary Generation from Signal Analysis", Proceedings of the 3rd International Society for Music Information Retrieval Conference, Paris, France, 2002, 7 p.

- [5] Klapuri, A. ; Müller, M. ; Paulus, J. " Audio-based music structure analysis", Proceedings of the 11th International Society for Music Information Retrieval Conference, Utrecht, Netherlands, 2010, 12 p.

- [6] Minier, J. *Fragmentation cognitive/informatique de la musique populaire amplifiée. Construction d'un système dirigé par une notion de simulacre cinétique*. Thèse, Paris I Sorbonne Panthéon, 2011, 368 p.

- [7] Minier, J. *Synthèse du temps et fragmentation cognitive du sonore*, Séminaire « Philosophie et Musicologie, des croisements aux rencontres », 2012, actes à paraître, 9 p.

- [8] Verfaillie, V. *Effets audionumériques adaptatifs : théorie, mise en œuvre et usage en création musicale numérique*. Thèse, ATIAM, Aix-Marseille II, 2003, 326 p.

<sup>8</sup> La procédure de la matrice en orgue est expliquée dans [6].