

La spatialisation du temps musical : les Unités Sémiotiques Temporelles

C. Tijus, S. Poitrenaud, C. Bellissens, J. Heni, M. Frémiot
CNRS FRE - 2627 « Cognition & Usages » - Université Paris 8
Laboratoire Musique & Informatique de Marseille (MIM)

Résumé

L'équipe du Laboratoire Musique & Informatique de Marseille, autour de Marcel Frémiot, a mis en évidence des Unités Sémiotiques Temporelles (U.S.T.) ou "segment musical qui, même hors contexte, possède une signification temporelle précise, due à son organisation morphologique" (Delalande, Formosa, Frémiot, Gobin, Malbosc, Mandelbrojt & Pedler, 1996). Ainsi définies, les unités sémiotiques temporelles réfèrent aux unités de base permettant de dérouler et d'organiser la musique dans le temps. Leurs traits morphologiques renvoient à des attributs morphologiques et sémantiques et ces attributs sémantiques définissent une séquence. C'est grâce à cette signification temporelle que sont identifiées les UST que sont « Chute, Contracté étendu, Elan, En flottement, En suspension, Etirement, Freinage, Lourdeur, Obsessionnel, Par vagues, Qui avance, Qui tourne, Qui veut démarrer, Sans direction par divergence d'information, Sans direction par excès d'information, Stationnaire, Sur l'erre, Suspension Interrogation, Trajectoire inexorable ». Par exemple, l'UST « chute » est « une unité délimitée dans le temps, à deux phases : une première phase globalement uniforme, même si la matière est animée d'un mouvement interne et une deuxième phase qui comporte un mouvement d'accélération et évolue en hauteur soit en montant, soit en descendant ».

Le codage en UST de l'information musicale a une validité empirique puisque de nombreuses compositions ont pu ainsi être segmentées et codées. Qu'en est-il de leur validité psychologique ? A partir d'une analyse vectorielle et d'une analyse basée sur le treillis de Galois (Poitrenaud, 1995), nous avons représenté l'univers de description des UST, leurs dimensions, similitudes et distinctions que nous avons confrontées à une ontologie des mouvements spatiaux et aux catégorisations faites par des participants dans une tâche de classement. De la sorte, nous montrons la pertinence cognitive des UST et l'importance du codage spatial de l'information temporelle délivrée par la musique comme support à l'approche biosémiotique.

Mots clefs

Cognition, Musique, codage, Unités Sémiotiques Temporelles

La construction cognitive du temps à partir de l'espace

Le temps, la durée et le rythme sont des constructions cognitives pour lesquelles nous disposons de représentations symboliques externes (calendrier, cadran numérique, ...) mais surtout de nature spatiale (déplacement d'aiguilles, balancier, cadran solaire). A cet égard, l'appréhension cognitive du temps, des durées et des rythmes fait largement appel au codage analogique spatial à partir des mouvements et déplacements spatiaux. Prendre comme source l'espace, et la vision, pour représenter le temps a comme effet de fournir une capacité de traitement simultané de l'information séquentielle. Ceci se retrouve avec la représentation mentale de tâches à résoudre (Tijus, 2000) ou encore la compréhension de scènes narratives dans des œuvres picturales (Tijus, 2001). Qu'en est-il du codage cognitif de l'information musicale ?

Rappelons tout d'abord la nécessité qu'il y a à représenter les données visuelles qui ne peuvent être simultanément perçues par une spatialisation généralement opérée par des « vues d'en haut » avec les cartes (figure 1-a), les plans d'architectes, l'échiquier (figure 1-b), ou encore par des présentations simultanées de différents points de vue (figure 1-c). Il s'agit toutefois de données temporellement co-occurentes, qu'on puisse s'en assurer d'en haut (figure 1-a, 1-b) ou non (figure 1-c) par manque d'ubiquité. Plus troublante est la spatialisation de données visuelles qui ne sont pas co-occurentes (figure 1-d) avec la notion d'espace-problème (Newell & Simon, 1972 ; Tijus, 2001 pour une présentation) qui représente simultanément tous les états d'un problème alors que l'occurrence de l'un exclut tous les autres, tout comme un calendrier permet de représenter tous les jours de l'année. En résumé, les représentations externes spatiales nous permettent l'appréhension simultanée de données visuelles qui ne sont pas concomitantes, dans l'espace, mais aussi dans le temps. La saisie cognitive immédiate de ces représentations spatiales externes nécessite une abstraction qui se réalise par une réduction quantitative et qualitative des propriétés des objets et une amplification et amplification des propriétés utiles (les

routes de figure 1-a, la forme distinctive des pièces de la figure 1-c), mais surtout par une intégration schématique (Schank & Abelson, 1977) externe et interne des parties (figure 1-a : centre-ville / le reste de la ville / extérieur à la ville ; figure 1-c : pièces noires / pièces blanches) ou encore seulement interne (figure 1-b : cuisine, balcon, séjour ; figure 1-d : les chemins qui permettent d'aller de 111 à 333) dans une structure de décomposition tout-parties (figure 1-a : région : [ville : centre-ville / le reste de la ville] [extérieur à la ville] ; figure 1-c : pièces : [pièces noires : Roi, Reine, ...] [pièces blanches] ; figure 1-b : maison : [intérieur : cuisine, séjour], [extérieur : balcon] ; figure 1-d : but 333[sous but 223] [sous-but 133] [sous 333]) qui permet l'intégration cohérente de données visuelles non-concomitantes.

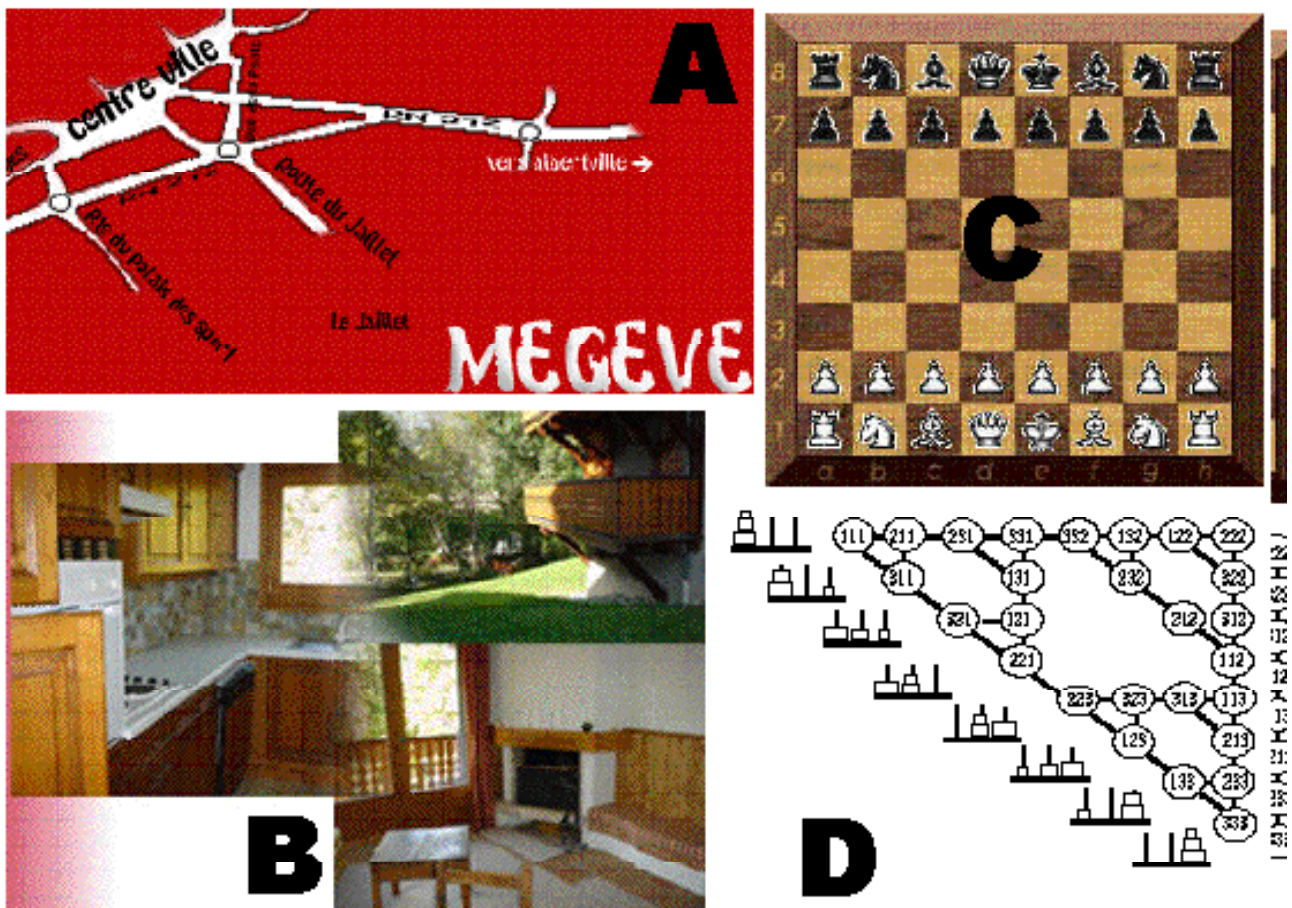


Figure 1. Spatialisation de données visuelles : a -plan d'une ville, b – points de vue multiples, c : échiquier vu de haut avec pièces à plat, d – espace problème de la Tour de Hanoï : les états successifs sont simultanément perçus.

Ainsi, les données visuelles, de nature spatiale, qui ne peuvent être directement perçues simultanément sont codées spatialement pour être appréhendées en un tout cohérent. Il en va de même pour les données spatio-temporelles (figure 1-d ; comme autre exemple, on pensera aux notices techniques qui montrent simultanément les états successifs du montage d'un dispositif, ou encore le tracé d'un parcours sur une carte). Notre hypothèse est que ces processus de schématisation spatiale (réduction et ampliation-amplification, structure partie-tout) sont également ceux qui ont cours pour traiter les données qui ne sont pas de nature spatiale, mais temporelle, par exemple les flux sonores et spécialement la musique. Ce codage nécessite en outre la position et l'orientation dans un espace mentalement construit.

Les flux sonores ont manifestement une dimension physique spatiale qui relève de la position de la source (ou des sources) par rapport à l'auditeur. Nous ne traitons pas ici de cette dimension. On notera également que la partition musicale sur support avec ses blanches et ses noires et triples croches correspond à cette schématisation spatiale qui fait appréhender simultanément des événements sonores temporellement disjoints avec pour chaque note une position spatiale, une direction (de droite à gauche et de haut en bas, comme pour la lecture). Elle n'est toutefois pas cognitivement valide comme mode de représentation interne de la musique parce qu'elle est apprise, et surtout parce que tout comme lorsque nous percevons quelqu'un en train de faire quelque chose, nous ne nous créons pas des suites de lettres, lorsque nous écoutons de la musique nous ne nous créons pas des suite de blanches, noires et triple croches. Sans oublier que ce système de notation est inadéquat pour nombre de musiques.

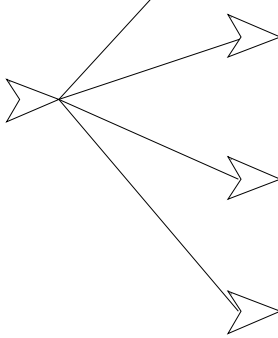
A l'écoute d'un flux sonore, le problème pour un système cognitif (qui a pour objectif la signification de ce qui est entendu) est de pouvoir intégrer ce qui n'est plus (ce qui a été entendu et qui n'existe plus physiquement), ce qu'on est en train d'entendre (qui existe physiquement) et ce qu'on va entendre (qui n'existe pas encore et auquel il faut être préparé). Pour cela, il faut de la mémoire (Ornstein,

1969), une fenêtre attentionnelle qui fait que deux événements sonores physiquement non-occurents, mais temporellement proches, soient simultanément appréhendés, et qu'on évalue d'une latence comprise entre 1.5 et 2 secondes (Handel, 1989) et un mode de représentation qui permette d'anticiper les événements à venir à partir de ce qu'on connaît, ce qu'on a vient d'entendre et ce qu'on est en train d'entendre.

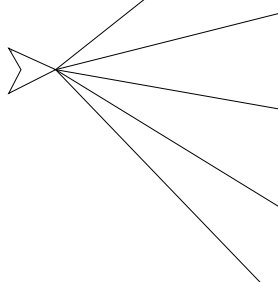
Afin de comprendre comment sont évaluées les durées, mais aussi les rythmes, la psychologie du temps (e.g., Church & Broadbent, 1990, Denhiere & Pelissier, 2003) a développé les notions d'horloge interne (pacemaker) et d'accumulateur à partir desquels ce qui est écouté pourrait être codé et stocké en mémoire. Il s'agit en quelque sorte de coder le temps, et les événements temporels, en les discrétisant. Cette approche correspond de notre point de vue à une fonction fondamentale de la cognition humaine qui est sa capacité de simulation en reproduisant. Cette capacité de reproduction est probablement une manière de recréer du temps en rejouant les événements sonores. Les modèles mentaux qui permettent cette simulation ne sont pas incompatibles avec une approche schématique (Brewer, 1987) intermodale.

Toutefois si les capacités de simulation de l'esprit humain sont déterminantes pour la production d'événements temporels, on voit mal comment elles permettraient l'appréhension simultanée des événements passés, présents et futurs. En revanche le codage spatial permet de se représenter ces trois moments comme une trajectoire spatiale appréhendée comme un tout qui se déroule. C'est un premier argument basé sur l'économie cognitive. Un deuxième argument est de nature écologique. Les sons naturels, par opposition aux sons fabriqués, produits par des dispositifs, ont deux sources: le mouvement d'objets qui se déplacent (une tasse qui tombe, un ballon qui roule, etc.) et l'action faite sur des objets (taper sur une casserole, gratter une corde). C'est que trouvent (Figure 2) Anne Faure et Steve MacAdams qui ont demandé à des musiciens et des non-musiciens de décrire douze sons, six étant des sons de synthèse (Faure & Mc Adams, 1997; Faure, Mc Adams, Poitrenaud & Tijus, en préparation): pour décrire un son, les personnes parlent du déroulement du son et de sa forme, mais surtout de la source qui aurait bien pu produire le son. Le son se trouve ainsi

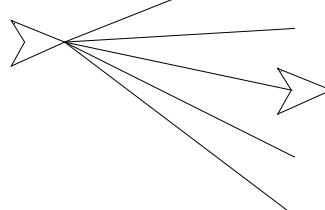
la force (101), frapper (112)
la force du coup (86), forcZe (35)
- fluvit (139) Ō instrument (156)
- objets courant (125)
- matŽriaux (92)



la force de la machine (148)...
- impact (45)



la force de la machine (24)..
- diffus (29), flou (15)



Les unités sémiotiques temporelles de l'équipe du MIM sont basées sur l'analyse du déroulement temporel de la musique et sont typées à partir de leur nom (qui avance, qui veut démarrer, trajectoire inexorable, qui tourne, chute, freinage,

etc.) et d'attributs (mouvement, direction, accélération, etc.) qui relèvent largement d'une terminologie spatiale: "elles peuvent être considérés comme des représentations iconiques qui entretiennent des rapports de ressemblance avec des modèles temporels naturels" (Timsit-Berthier et al., ce volume). Tout comme pour l'expérience de A. Faure et S. Mc Adams, relaté ci-dessus, ce pourrait être par une analogie de surface : n'ayant pas de termes propres aux événements temporels, on les emprunte aux événements spatiaux. Notre hypothèse est qu'il s'agit d'une analogie profonde : les événements temporels sont traités, reconnus et identifiés à partir d'événements spatiaux; les sons sont traités, reconnus et identifiés à partir des événements physiques spatiaux qui les produisent (ou auraient pu les produire) et la musique est traitée, reconnue et identifiée à partir de déplacements et de mouvements spatiaux. En résumé, dans le monde naturel, il n'y a pas de bruit sans mouvement d'objet. Un son implique un mouvement et beaucoup d'inférences sur les mouvements non perçus sont faites à partir de sons entendus (la porte qui claque). Si c'est bien le cas, alors les UST doivent avoir une pertinence psychologique et les principes de schématisation spatiale (réduction et ampliation-amplification, structure partie-tout) doivent être à l'œuvre dans les UST.

Pertinence psychologique des UST

Nous avons mené trois analyses des UST. La première analyse (figure 3) relève d'un calcul de similarité sémantique basé sur une décomposition en valeur singulière et une analyse vectorielle de type LSA (Landauer & Dumais, 1997).

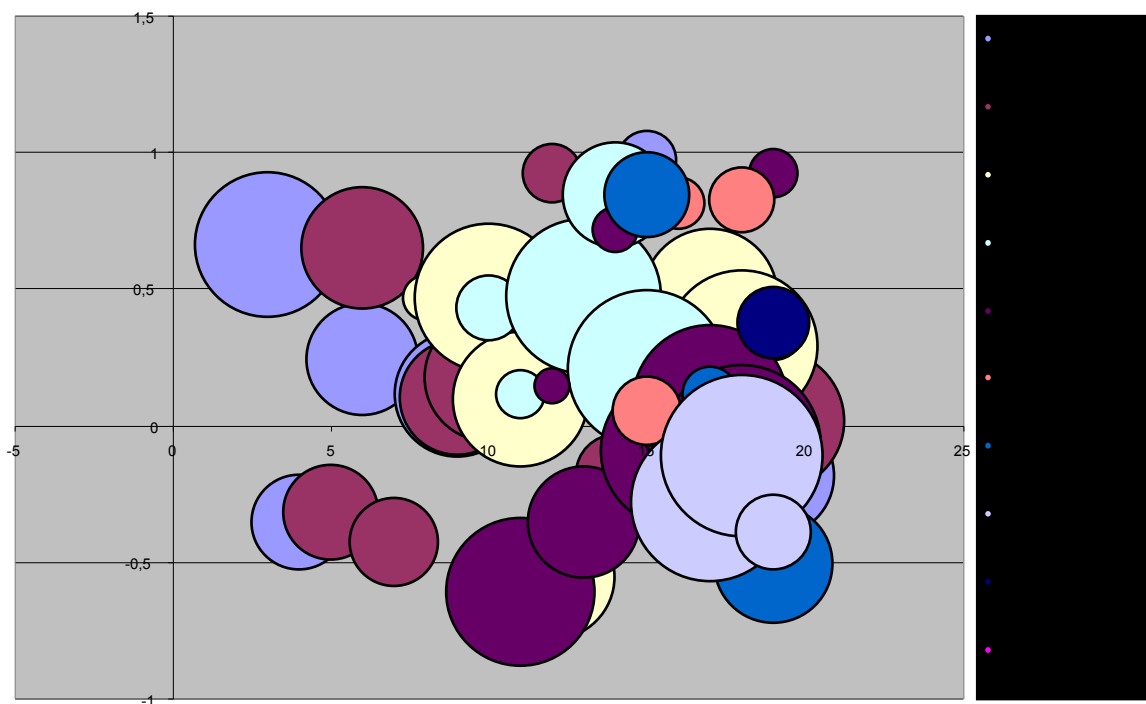


Figure 3. Vecteurs représentant chaque UST après analyse (haut) et tableau de corrélation entre les vecteurs (cosinus de l'angle formé par deux vecteurs).

Les résultats montrent l'existence de 4 groupes : g1 : stationnaire, en flottement; g2 : sans direction (2), démarrer; g3 : par vague, trajectoire inexorable, lourdeur, qui avance, en suspension, obsessionnel, qui tourne; g4 : chute, contracté-étendu, suspension-interrogation, élan, freinage, sur l'erre, étirement,. Notre interprétation est qu'on a des groupes caractéristiques : sans trajectoire (g1), trajectoire inconnue (g2), trajectoire connue (g3), trajectoire particulière (g4). On a bien une réduction des traits et une amplification de certaines caractéristiques qui permettent d'appréhender la diversité sous un petit nombre de catégories.

La seconde analyse relève de l'élaboration du treillis de Galois (figure 4) en considérant les descripteurs comme des parties de la définition que chaque UST a ou n'a pas. La structure hiérarchisée de l'ensemble des ensembles de parties fournit l'organisation des UST dans la mesure où chacune est placée comparativement aux autres du point de vue des descripteurs partagés (Poitrenaud, 1995, 2001).

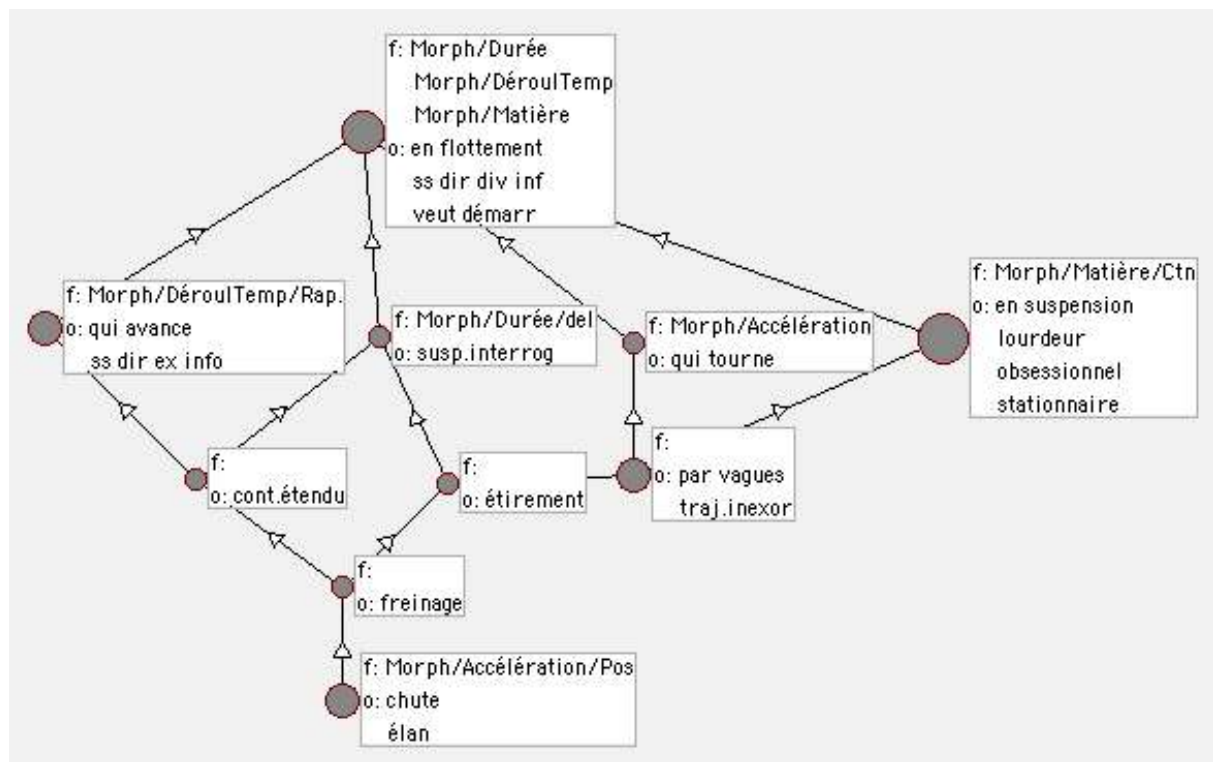


Figure 4. L'analyse hiérarchique STONE des UST à partir de descripteurs caractéristiques.

Les résultats dévoilent une structure hiérarchique aux UST compatible avec une représentation schématique basée sur une composition partie-tout : du non-déplacement (en flottement, veut démarrer) aux déplacements les plus spécifiques (chute, élan), en passant par les déplacements généraux (qui tourne, par vague, etc.).

La troisième analyse relève de l'approche expérimentale. Elle a consisté à demander à des participants (8 musiciens et 8 non-musiciens) d'écouter vingt extraits musicaux (quatre exemplaires par type d'UST pour 5 types d'UST: contracté-étendu, obsessionnel, qui avance, qui tourne, trajet inexorable) sur un ordinateur et de les mettre ensemble ou de les différencier selon leur déroulement temporel. Pour cela, les participants plaçaient les icônes des UST écoutés dans l'espace à deux dimensions de la fenêtre d'un dossier (figure 5).



Figure 5. Exemple de réalisation de la répartition de 20 extraits musicaux par un participant.

Selon l'analyse en UST, les extraits musicaux relèvent de 5 groupes. En moyenne, les participants réalisent 6 groupes lorsqu'ils sont musiciens et 6.7 groupes lorsqu'ils sont non musiciens. Lorsqu'on regarde avec quels autres UST, un extrait musical a été placé (tableau 1), on remarque que l'UST "trajet inexorable" est toujours placé avec un autre "trajet inexorable" et que les autres UST ont tendance à

être groupé avec "trajet inexorable" qui a une sorte de fonction d'appel, mais qu'en deuxième position une UST est groupé avec l'UST du même type. Ainsi, mis à part l'effet induit par "trajet inexorable", les participants semblent bien traiter les extraits musicaux comme des UST.

Tableau 1. Pourcentages de répartition des extraits musicaux relevant d'un type d'UST avec d'autres segments musicaux relevant ou non de la même UST (av: qui avance, cé: contracté-étendu, ob: obsessionnel, ti: trajet inexorable, tou: qui tourne).

Conclusion : vers une taxonomie du mouvement

Il peut paraître surprenant d'envisager une typologie taxonomique des mouvements puisqu'on a une infinité de déplacements possibles dans l'espace 3D. D'un autre côté, la prise en compte de contraintes et la schématisation peuvent grandement réduire les cas envisageables. Une première contrainte est le point de départ de tout mouvement qui peut être réduit à 2 dimensions dans une schématisation. Une seconde contrainte est la direction du mouvement qui peut être de gauche à droite et qui peut être projetable par symétrie de droite à gauche. Il en va de même pour l'orientation où monter équivaut à descendre par symétrie, si bien que l'idée de chute qui monte a une signification. Considérant les événements possible, il peut y avoir le cas «sans mouvement» : demeurer sur place. Il peut y avoir des cas d'oscillations en avant, en diagonale, en montant avec retour à la position initiale. Il peut y avoir les cas de changement de position sur un déplacement (durée) variable dans l'une des trois directions, à vitesse constante, avec accélération ou décélération. On a ainsi des éléments de base qui peuvent se composer et des compositions dont on peut tester la

	av	cŽ	ob	ti	tou	Totals
contract-Zt	1,587	25,397	0,000	73,016	0,000	100,000
obsessionnel	17,188	27,812	20,312	54,688	0,000	100,000
qui avance	42,857	7,937	0,000	49,206	0,000	100,000
qui tourne	24,062	1,562	9,937	59,375	15,625	100,000
traj inex	0,000	0,000	0,000	100,000	0,000	100,000
Totals	15,094	8,491	5,975	67,296	3,145	100,000

pertinence (ont-elles une signification ?) et la représentativité cognitive (est-ce suffisant pour représenter le perçu ?). Enfin, il serait possible de voir si ces compositions temporelles et spatiales sont à l'œuvre dans les UST. Le fondement épistémique d'une telle approche est qu'il n'y a pas de son sans mouvement spatial et que le mouvement spatial est mode appréciable de codage des événements temporels qui pourrait bien servir de support à l'appréhension des événements sonores, dont la musique.

Références

- Brewer, W. F. (1987). Schemas versus mental models in human memory. In P. Morris, Ed., *Modelling Cognition*. Chichester, UK: Wiley, (pp. 187-197).
- Church, R.M., & Broadbent, H.A. (1990). Alternative representation of time, number and Rate. *Cognition*, 37, 57-81
- Delalande, F., Formosa, M., Frémiot, M., Gobin, P., Malbosc, P., Mandelbrojt, J. & Pedler, E. (1996). *Les Unités Sémiotiques Temporelles : Éléments nouveaux d'analyse musicale*. Marseille : Éditions MIM - Documents Mesurgia, 96 pages
- Denhiere, G., & Pelissier, A. (2003). Temps et Cognition. Journées interdisciplinaires de l'ED 224 "Cognition, Langage, Interaction, sur le temps, 24-25 avril 2005.
- Faure, A. & McAdams, S. (1997). Comparaison de profils sémantiques et de l'espace perceptif des timbres musicaux. 4ème Congrès Français d'Acoustique, Marseille, France, Teknea.
- Faure, A. McAdams, S. Poitrenaud, S. & Tijus, C. (en préparation). Analyse du contenu de verbalisations sur des timbres : Comment parle-t-on des sons ?
- Handel, S. (1989). *Listening*. M.I.T. Press : Cambridge, MA.
- Newell, A. & Simon, H.A. (1972). *Human problem solving*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall
- Ornstein, R. E. (1969). *On the experience of time*. Baltimore: Penguin Books
- Poitrenaud, S. (1995). The Procope Semantic Network: an alternative to action grammars. *International Journal of Human-Computer Studies*, 42, 31-69.
- Poitrenaud, S. (2001). Complexité cognitive des interactions homme-machine : modélisation par la méthode ProcOpe. Paris : L'Harmattan.
- Schank, R. C., and R. P. Abelson. (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- T. Landauer and S. Dumais. A solution to plato's problem: The latent semantic analysis : theory of acquisition, induction and representation of knowledge. *Psychological Review*, 104(2): 211-240, 1997.
- Tijus, C. (2000). Le temps projeté : planification, anticipation, mémoire". *Journées scientifiques Réseau des Sciences cognitives d'Ile de France*, Collège de France, 20 et 21 octobre 2000.
- Tijus, C. (2001). La spatialisation du temps : La reconstruction cognitive du temps imagé de Giovanni Bellini à Marta Pérez. *Colloque "Forme et Temps"*, IRCAM, Centre George Pompidou, juin 2001
- Tijus, C. (2001). *Psychologie Cognitive : une introduction*. Paris : Nathan Université, collection Fac, Psychologie.
- Timsit-Berthie, M., Bootz, Ph., Favory, J., Formosa, M., Mandelbrojt, J., Paillard, J., Pro'dhomme, L., & Frémiot, M. (2004). Les Unités Temporelles Sémiotiques (UST): un nouvel outil d'analyse musicale. Description et approche biosémiotique. Colloque de Rochebrune, 26-30 janvier 2004.

