



**HAL**  
open science

## Un modèle empirique pour la détermination d'un coefficient de transition pour les accords

Mikhail Malt

► **To cite this version:**

Mikhail Malt. Un modèle empirique pour la détermination d'un coefficient de transition pour les accords. Ve Journées d'informatique Musicale, La Londe-les-Maures, France, 1998, La Londe-les-Maures, France. hal-01580465

**HAL Id: hal-01580465**

**<https://hal.science/hal-01580465>**

Submitted on 1 Sep 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Un modèle empirique pour la détermination d'un coefficient de transition pour les accords

Mikhail Malt

IRCAM, 1 Pl. Igor Stravinsky 75004 Paris, mmalt@ircam.fr

**Résumé :** *Ce papier a pour objectif de présenter le développement d'un concept de tension relative dans la transition entre accords et une première réflexion sur la notion d'interpolation. Cette recherche s'est faite dans le cadre d'une étude plus large qui se penchait sur les problèmes liés à l'utilisation de métaphores graphiques dans la représentation musicale, plus spécifiquement dans l'interpolation d'accords.*

*Plusieurs compositeurs et chercheurs (Fineberg [PRESSNITZER&al 1996] et Stroppa [HAUTBOIS 1991] entre autres) ont développé des méthodes pour la détermination de certains coefficients caractérisant des propriétés de tension et/ou de rugosité d'ensembles de hauteurs. Cependant, si ces travaux développent des concepts liés à l'accord en soi, il n'existe pas beaucoup de travaux se penchant sur les effets de la transition.*

*Ce travail s'est déroulé dans un contexte d'écriture assistée par ordinateur où il était nécessaire le développement d'heuristiques qui pouvaient être utilisées comme des contraintes pour le traitement et la génération de matériau musical. Dans la dernière partie de ce papier nous montrerons l'utilisation de ce modèle pour déterminer des poids dans la recherche d'un chemin optimal dans un graphe où les nœuds représentent des accords.*

## 1.0 La problématique, l'interpolation

L'interpolation est une pratique utilisée par de nombreux compositeurs<sup>1</sup> pour la génération de matériau pré-compositionnel. Cette technique (comme nous la connaissons de nos jours à l'IRCAM) a commencé à être utilisée avec des objectifs divers tels que la recherche sur la transformation d'objets musicaux ou encore la recherche de nouveaux espaces de paramètres<sup>2</sup>. Il est important de remarquer que cette procédure n'a pas été seulement appliquée aux hauteurs, mais à tout l'ensemble de paramètres de l'espace musical, en allant des durées aux analyses spectrales de sons<sup>3</sup>.

Cette procédure repose sur le principe suivant: à partir de deux objets musicaux, nous allons générer des objets intermédiaires qui représentent un processus de transformation, plus au moins graduel<sup>4</sup>, transformant le premier objet dans le deuxième, comme le suggère la figure 1. Le mot "suggère" n'est pas gratuit, il introduit une partie de notre problématique, soit l'influence des représentations graphiques sur la pensée du compositeur.

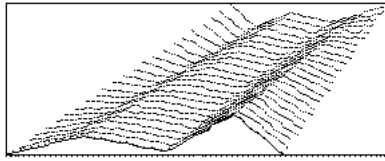
---

<sup>1</sup>Voir [CHOLLETON 1993], [BARRIÈRE 1984], [BARRIÈRE 1990a], [BARRIÈRE 1990b], [DALBAVIE 1981], [DALBAVIE 1985], [MURAIL 1984], [MURAIL 1989], [GRISEY 1989], [GRISEY 1991], [SAARIAHO 1991]. L'environnement d'aide à la composition Patchwork dispose de plusieurs librairies permettant la réalisation d'interpolations. D'entre les plus utilisés nous pouvons citer: La librairie TransKaija de Jacques Duthen, Pierre-François Baisnée, Xavier Rodet et de Xavier Chabot, la librairie Profile de Mikhail Malt et Jacopo Baboni Schilingi, le module <mutations>, utilisé par le compositeur Claudy Malherbe, dans la librairie Repmus, la librairie Interpol2/3D de Mikhail MALT et la nouvelle librairie "Morphologies" de Jacopo Baboni Schilingi et Frédéric Voisin .

<sup>2</sup> Ce fait nous a été rapporté verbalement par le compositeur Joshua Fineberg. Au début des années 90, plusieurs compositeurs tels que Tristan Murail, Magnus Lindberg, Kaija Saariaho, J. B. Barrière et d'autres, se posaient la question de savoir si un modèle de calcul pourrait les aider à "trouver" des espaces d'objets nouveaux, comme par exemple dans l'interpolation entre accords.

<sup>3</sup> Voir aussi [VANDENHEEDE&HARVEY 1985] pour une étude sur l'interpolation (les auteurs parlent en effet d'hybridation) sur le timbre, [POLANSKY&McKINNEY 1991], [POLANSKY 1992], [MALT&BABONI SCHILINGI 1995a] et [MALT&BABONI SCHILINGI 1995b] pour l'application du concept d'interpolation aux séquences mélodiques; et [DALBAVIE 1981] pour une réflexion sur l'application de l'interpolation au domaine du timbre.

<sup>4</sup>En fonction du nombre de pas souhaités pour ce processus.



**figure 1:** une interpolation graphique entre deux fonctions par segment

### 1.1 Les différents concepts liés à l'interpolation<sup>5</sup>

Comme nous l'avons brièvement remarqué, cette procédure a été utilisée avec des objectifs très divers par certains compositeurs. Selon les multiples interprétations ou concepts qu'ils associaient à cette technique nous pouvons citer:

- La recherche d'espaces musicalement inconnus,
- Le concept de transition [DALBAVIE 1985] et [SAARIAHO 1985],
- Le concept d'évolution de processus, et par conséquent celui de "directionnalité" [DALBAVIE 1985],
- Le concept de "parcours formels parfaitement perceptibles" [DALBAVIE 1985] et [POLANSKY&McKINNEY 1991]<sup>6</sup>,
- Le concept de transformations graduelles [CHOLLETON 1993, 30],
- Le concept d'expansion (d'élargissement du champ sonore)<sup>7</sup>,
- Le concept de transformation d'états<sup>8</sup>
- Le concept d'évolution d'une forme musicale dans une autre [MALT&BABONI SCHILINGI 1995a].

En dépit de cette apparente multitude de significations attribuées au concept d'interpolation, nous remarquons que des idées telles que transformations graduelles, transformations perceptibles, générations d'objets avec des petites distances perceptibles entre eux et parcours linéairement perceptible, apparaissent comme étant des concepts communs aux divers sens attribués à la notion d'interpolation.

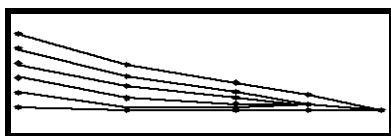
### 1.2 La métaphore graphique pour représenter l'interpolation

Souvent, les compositeurs ont utilisé la représentation graphique pour se figurer des transformations musicales<sup>9</sup>. Dans le rapport de recherche de M. A. Dalbavie nous rencontrons deux illustrations de ce fait, avec les commentaires suivants, [DALBAVIE 1985]:

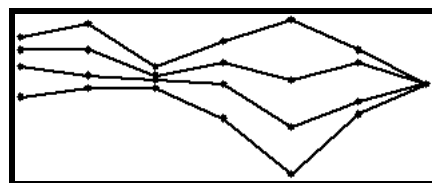
*"L'avantage de ce genre de processus est de pouvoir établir une "directionnalité" dans les enchaînements harmoniques et ainsi de créer des parcours formels parfaitement perceptibles."* (figure 2)

et

*"On peut créer de véritables parcours, où l'évolution n'est pas linéaire, comme dans le cas d'une dilatation, mais peut revêtir des formes très complexes où plusieurs chemins apparaissent."*(figure 3)



**figure 2**



**figure 3**

La représentation graphique est un outil commode pour se figurer toutes sortes de relations entre objets, puisque *"La structure naturelle de l'image permet donc de transcrire, puis de voir spontanément toutes les relations qui s'établissent entre trois composantes, quelles qu'elles soient"* [BERTIN 1995]. Étant la représentation graphique "atemporelle", l'œil peut alors percevoir une forme d'ensemble, il peut transporter plusieurs aspects "en-temps" dans le "hors-temps". Par des permutations l'image peut se

<sup>5</sup> [DALBAVIE 1981], [DALBAVIE 1985], CHOLLETON (1993)

<sup>6</sup> Dans [POLANSKY&McKINNEY 1991, 234] nous pouvons lire:

*"...we develop simple transformations, called morphological mutations, which yield interesting and fertile procedures for 'cross-fading' one morphology into another along perceptual axes".*

<sup>7</sup> Ceci est un concept que le compositeur brésilien Flo Menezes accorde à l'interpolation d'accords.

<sup>8</sup> Voir à ce sujet [MALT 1994b] et [MALT 1996b].

<sup>9</sup> Voir par exemple les esquisses de Michael Jarrell dans [SZENDY 1993b, 184-185].

simplifier sans perdre une parcelle de l'information originelle. Cette propriété, selon Jacques BERTIN, autorise les manipulations visuelles et transforme la représentation graphique en un système de traitement d'informations.

Ces aspects de la représentation graphique ne pouvaient être gênants que s'ils se bornaient à leur rôle, soit la figuration de l'imaginaire, la représentation de concepts abstraits pour guider le compositeur dans la recherche des processus de calcul qui pourraient construire des objets avec les qualités requises. Mais cette représentation a rapidement changé le regard que les compositeurs (et les scientifiques) portaient sur l'interpolation. Dans l'article "De l'écriture au timbre" [DALBAVIE 1981], le compositeur cite l'utilisation d'une procédure appelée d'interpolation directionnelle, où le résultat  $Rn$  d'une interpolation entre un objet  $A$  et un autre objet  $B$ , est calculé de la forme suivante:

$$Rn = A + ((B - A) * K)$$

où  $K$  est un coefficient de proportionnalité (figure 4).

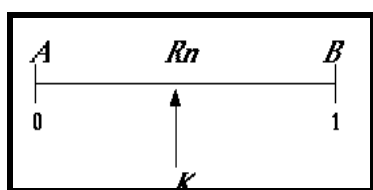


figure 4

Par les dessins et par la manière qu'il a réalisé son calcul, Dalbavie a utilisé la métaphore graphique pour se représenter le processus d'interpolation. L'interpolation des objets, la construction de "parcours formels parfaitement perceptibles", était maintenant directement associée à une représentation géométrique du procédé.

En effet, grande partie des interpolations d'accords (et d'autres paramètres) utilisées par les compositeurs<sup>10</sup> sont des transformations linéaires qui, d'un point de vue géométrique, correspondent à l'application du théorème de TALLES sur l'espace des paramètres musicaux. Ce n'est que récemment que certains environnements tels que "Profile"<sup>11</sup> ont commencé à intégrer des notions et des contraintes perceptives<sup>12</sup> pour le calcul des processus, permettant d'avoir des vraies interpolations du point de vue de la perception. Par exemple, une interpolation d'accords était (et est encore, pour certains compositeurs) représentée par la figure 5. Ce qui musicalement pouvait donner origine à la séquence représentée par la figure 6<sup>13</sup>:

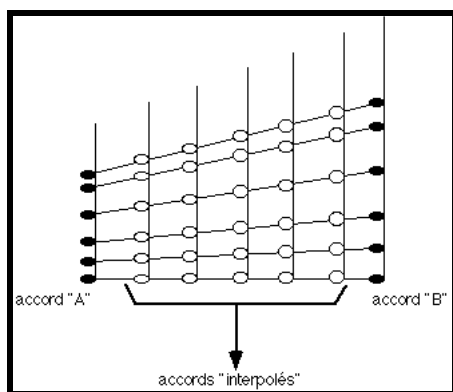


figure 5<sup>14</sup>

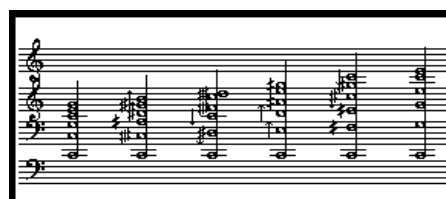


figure 6

L'exécution de ces accords par n'importe quel synthétiseur nous montre le décalage entre la représentation graphique et le résultat musical. L'exemple que nous venons de présenter comprend comme début et fin du processus deux accords composés de "do mi sol", très stables et fusionnés. Le résultat devrait permettre d'entendre une évolution musicale (dans notre cas harmonique), linéaire, mais la linéarité

<sup>10</sup>Voir [CHOLLETON 1993], [BARRIÈRE 1984], [BARRIÈRE 1990], [DALBAVIE 1981], [DALBAVIE 1985], [MURAIL 1984], [MURAIL 1989], [GRISEY 1989], [GRISEY 1991] et [SAARIAHO 1991].

<sup>11</sup> Voir [MALT&BABONI SCHILINGI 1995a] et [MALT&BABONI SCHILINGI 1995b].

<sup>12</sup> La librairie Profile se fonde sur la représentation des séquences mélodiques par des profils géométriques, en considérant que l'oreille peut percevoir des "contours" mélodiques. D'autre part, dans cette librairie certains modules permettent l'application de contraintes harmoniques pour, ainsi dire, "corriger" les résultats des interpolations en imposant un parcours harmonique établi par le compositeur.

<sup>13</sup> Avec approximation de huitième de ton.

<sup>14</sup> Hauteurs en notes en non en fréquences.

si elle existe, n'est que géométrique, et ne correspond en aucun cas à un parcours harmonique aussi linéaire. Il existe sûrement une linéarité originaire des mouvements des voix qui peut garantir une cohérence au procédé, mais cette cohérence s'estompe en fonction des durées attribuées à chacun des ces "champs" harmoniques. En suivant chaque pas du processus nous constatons qu'il existe pas de rapport directe entre la progression de la déformation graphique et l'évolution des caractéristiques harmoniques<sup>15</sup> des accords.

## 2.0 L'interpolation d'accords

Dans notre recherche nous étions intéressés par le développement de moyens pour analyser les caractéristiques harmoniques des accords résultants d'une interpolation linéaire.

Pour notre expérience nous avons utilisé comme matériau de base l'interpolation utilisée par Tristan Murail dans Désintégrations<sup>16</sup> (au chiffre X de la partition). Pour éviter de malentendus, il est important de préciser que Murail a calculé son interpolation comme une interpolation linéaire (graphiquement et mathématiquement parlant<sup>17</sup>) appliquée aux notes (figure 7).

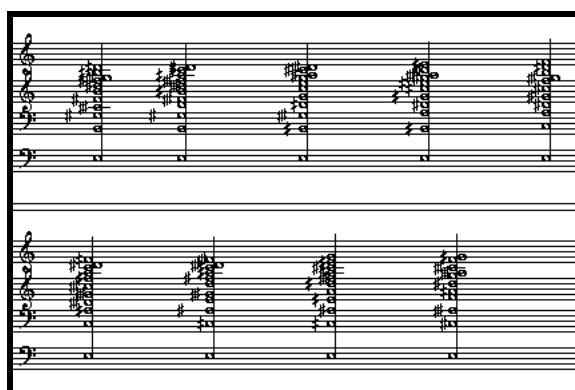


figure 7

Cependant, Tristan Murail, au moment de la composition, n'ignorait pas la distance existante entre la représentation graphique et le processus musical. Il a utilisé ce matériau en connaissant les limites qu'il présentait.

*"L'augmentation de la distorsion provoque une tension croissante, essentiellement par un effet de registre qui s'ouvre. En effet, il ne faut pas croire que les spectres obtenus soient nécessairement de plus en plus inharmoniques; ce qui rend d'ailleurs le processus plus intéressant, parce que moins prévisible"*

[MURAIL 1989, 164]

Les quatre facteurs que nous avons étudiés étaient:

- L'évolution de fondamentales virtuelles
- La détermination d'un coefficient de transition entre les accords
- La détermination d'un coefficient de stabilité, relatif, d'un accord et
- L'application d'un modèle de calcul de rugosité développé par Pressnitzer dans

[PRESSNITZER& al 1996].

Avec ces mesures nous voulions détecter des évolutions d'inharmonicité<sup>18</sup>, avoir une idée du degré de transition entre deux accords, avoir une indication de la stabilité relative des accords entre eux, et

<sup>15</sup> Nous appelons de "caractéristiques harmoniques" les sensations perceptives suscitées par un ensemble de fréquences. Parmi ces sensations nous pouvons citer la tension et la détente (souvent liée au concept de stabilité), la rugosité (liée psychoacoustiquement aux effets de bande critique) et la fusion spectrale.

<sup>16</sup> **Désintégrations** (1982) de Tristan Murail est une oeuvre pour Bande et 17 musiciens.

<sup>17</sup> Comme la relation entre l'espace fréquentiel et l'espace des notes est logarithmique, le passage de la transformation appliquée aux fréquences,  $y = ax^b$ , sera  $\log y = \log a + b \log x$ , appliquée aux notes, qui est une relation linéaire.

<sup>18</sup> Nous utilisons ici le concept d'inharmonicité comme étant une mesure du degré de décalage d'un agrégat fréquentiel par rapport aux fréquences composantes d'un spectre harmonique, et par conséquence comme mesure de la fusion entre ces fréquences.

finalement nous espérons trouver une quelconque directionnalité dans ce processus.

## 2.1 Un coefficient de transition pour les accords.

Un des concepts sous-jacents dans l'idée d'interpolation est la notion d'une transition avec un degré minimale de changement dans chaque pas du processus. Ceci voudrait dire qu'il existe soit une constante dans la variation de l'intensité dans chaque transition, ou que cette intensité a un trajet particulier. Pour pouvoir étudier cette notion nous allons présenter maintenant une méthode qui est une variation de la théorie des affinités décrite par Edmond Costère [COSTERE 1962, 88-139].

## 2.2 La théorie des affinités d'Edmond Costère

Edmond Costère considère que l'harmonie ne peut être dissociée de la résonance harmonique [COSTERE 1962, 52]. Cette thèse implique dans son raisonnement l'existence de ce qu'il appelle un potentiel d'affinité entre deux ensembles de hauteurs [COSTERE 1962, 89].

Dans une succession de deux hauteurs il est alors possible de déterminer un "potentiel" d'affinité du fait qu'une hauteur peut "renforcer" un ou plusieurs partiels (avec approximation de quart-de-ton) du spectre harmonique de la deuxième hauteur. Par exemple dans la transition sol3->do3 (figure 9) la note sol est présente trois fois dans les 16 premiers harmoniques. Du point de vue de Costère cette transition aurait un poids de "trois" puisque le sol "renforce" certaines des notes du spectre de do3.



figure 9

Dans le cas d'une transition sol3->fa3, le potentiel d'affinité serait de "un", puisque le sol ne "renforce" qu'une harmonique des seize premières du spectre de fa3 (figure 10).



figure 10

D'autre part Costère considère aussi que l'harmonie ne peut être dissociée de la résonance harmonique [COSTERE 1962, 52].

## 2.3 Une variation du modèle de Costère

En partant des thèses de Costère nous avons émis les hypothèses suivantes:

- 1) La stabilité d'une transition entre accords dépend des affinités harmoniques entre les notes de ces accords, c'est-à-dire plus une note d'un accord renforce les harmoniques d'une autre note de l'autre accord, plus cette transition a la tendance d'être stable. Plus de notes en commun ont les deux accords, plus cette transition est stable. L'expérience de l'harmonie classique nous montre que les accords avec des notes communes permettent des transitions douces. Nous remarquons que certaines transitions sont aussi "douces" lorsqu'il existe des relations d'octave entre les constituants des deux objets.
- 2) Les accords à comparer auront le même nombre de notes<sup>19</sup>.
- 3) Étant ce modèle à peine un modèle qualitatif, nous éliminerons les effets d'octave en ne comparant que des accords situés dans le même registre, avec une approximation d'une tierce majeure (paramètre expérimental).
- 4) L'influence d'une harmonique sera inversement proportionnelle à son rang<sup>20</sup>. Nous calculerons un poids relatif  $W_{rang}$ , tel que:

<sup>19</sup> Puisque nous n'avons encore pas fait des études sur la pondération de cette mesure en relation au nombre de notes qui constituent les accords.

<sup>20</sup> Nous trouvons cette règle aussi dans [PRESSNITZER&al 1996, 153].

$$W_{rang} \propto \frac{1}{rang^{coef}}$$

où  $rang$  est le rang d'appariement entre une hauteur et une harmonique et  $coef$  est un coefficient expérimental de décroissance

Pour chaque transition nous calculerons un coefficient de transition  $K$ , tel que

$$K = \sum W_{rang}$$

et où plus  $K$  est haut plus l'affinité est grande.

Il est important de signaler que nous avons développé ce modèle pour une application ad-hoc. De ce fait, nous n'avons pas pris en compte certains paramètres acoustiques tels que les amplitudes de chaque partiel, les registres (les données de bande critique) et le nombre de hauteurs qui composent chaque "accord".

## 2.4 Trois expériences dans la "tonalité"

### 2.4.1 Les transitions en Do majeur-I

Pour pouvoir vérifier la pertinence de cette procédure, nous l'avons appliquée aux transitions classiques entre l'accord de tonique de la gamme de do majeur et les autres accords de cette tonalité (figure 11)<sup>21</sup>.

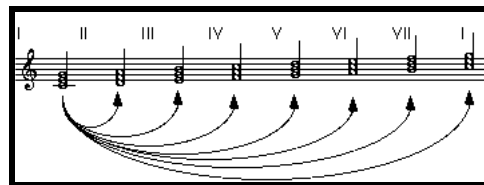


figure 11

Rappelons-nous que les valeurs que nous allons obtenir sont relatives et traduisent l'intensité de la transition. Si nous avons un poids haut cela voudrait dire que la transition est plus douce du point de vue harmonique (plus d'harmoniques et de notes en commun). Plus le poids relatif est bas cela voudrait dire que la transition est plus tendue. Les résultats obtenus sont exposés dans le tableau suivant et représentés graphiquement dans la figure 12.

Accords	DO+	RE-	MI-	FA+	SOL+	LA-	SiDim	DO8
Do+vers>	12.897	2.595	9.147	5.136	6.136	7.189	2.501	9.897

Il est intéressant de remarquer que nous avons eu des résultats, plus ou moins attendus. La transition la plus "douce" est effectivement la transition entre l'accord de tonique et lui-même<sup>22</sup> (poids-relatif=12.897). En deuxième place la transition entre l'accord de tonique et son accord à l'octave (poids-relatif=9.897). Pour la troisième et la quatrième place nous avons respectivement l'accord de mi mineur, la tonique "anti-relative" (poids-relatif=9.147) et l'accord de "la" mineur, la tonique relative (poids-relatif=7.189). En suite nous avons l'accord de dominante (poids-relatif=6.136) et l'accord de sous-dominante (poids-relatif=5.136). Finalement nous avons les transitions plus tendues vers l'accord du deuxième degré (poids-relatif=2.595) et vers l'accord du septième degré (poids-relatif=2.501).

Ces résultats doivent être analysés du point de vue de la transition, localement parlant. L'effet perceptif de mémoire n'est pas pris en compte, ce qui ne veut pas dire que ce modèle ne puisse pas nous donner une idée de l'intensité des transitions.

<sup>21</sup> les calculs ont été réalisés avec une approximation de quart-de-ton et avec les vingt premiers harmoniques de chaque hauteur.

<sup>22</sup>La valeur de transition d'un accord en vers lui-même, indique la valeur maximale que nous pouvons obtenir pour une transition.

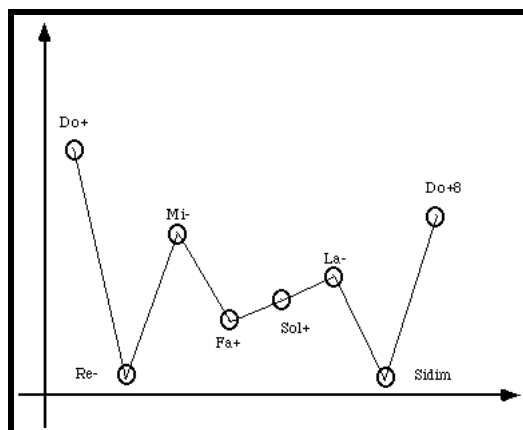


figure 12

### 2.4.2 Les transitions en Do majeur-II

Il est intéressant de remarquer que nous avons calculé des transitions avec des différences notables de registre entre les accords. Pour éviter ces effets nous avons procédé à une deuxième expérience dans laquelle nous avons arrangé les accords de manière qu'ils se situaient dans le même registre (figure 13). Le tableau ci-dessous et le graphe de la figure 14, montrent que dans certains cas, comme la transition du premier degré vers le sixième, l'effet de registre se fait sentir par une nette augmentation du coefficient de transition (de 7.189 à 9.189), indiquant clairement que dans le deuxième cas la transition est moins tendue.



figure 13

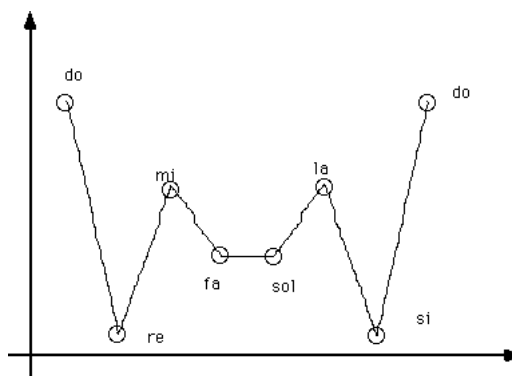


figure 14

Accords	DO+	RE-	MI-	FA+	SOL+	LA-	Sidim	DO6
Do+r vus>>	12.897	2.595	9.147	6.136	6.136	9.189	2.501	12.897

### 2.4.3 Les transitions entre des accords majeurs

Pour le troisième exemple, nous nous demandons quels seraient les résultats pour des transitions entre des accords majeurs. Les résultats sont eux aussi assez intéressants, et nous donnent, peut être, les affinités entre un accord majeur et les autres tonalités aussi majeures..

-->>	C+	C#+	D+	D#+	E+	F+	F#+	G+	G#+	A+	A#+	B+	C+
C+	12.9	1.18	2.01	4.91	4.76	5.14	0.69	6.14	3.76	3.91	2.01	1.18	9.9

En analysant le tableau ci-dessus et la figure 15, nous pouvons remarquer à nouveau, des résultats qui ne sont pas très éloignés des informations que nous avons de la tradition musicale classique. La tonalité la plus éloignée de Do+ serait alors Fa#+, et la plus proche (sans compter l'octave de l'accord de Do+) serait Sol+.



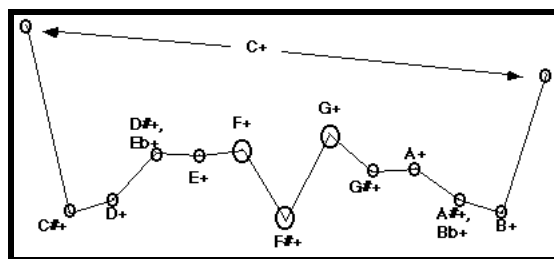


figure 15

### 3.0 Une application

Le modèle que nous avons développé avait comme but principal l'évaluation des degrés de tension relatives dans la transition entre accords, ayant un but purement analytique. Cependant, il nous est apparu que dans certaines conditions ce modèle pouvait être assez intéressant pour gérer des poids de transitions dans le cas précis où les accords sont considérés comme les nœuds d'un graphe. L'application de ce concept s'est fait dans l'environnement Patchwork avec la librairie "Repmus"[ASSAYAG&MALHERBE 1996].

### 4.0 Conclusions et développements futurs

Nous n'avons pas l'intention de prôner un retour à la tonalité. Pour des développements futurs, nous envisageons de généraliser ce modèle de manière à pouvoir manipuler le contenu spectral des sons sans qu'ils soient obligatoirement harmoniques. La série harmonique étant utilisé ici comme un premier modèle pour un contenu spectral d'un son. De notre part, et en nous appuyant sur les travaux de [MATHEWS&al 1988] sur l'interdépendance entre les concepts de consonance et de dissonance et du contenu spectral, nous émettons l'hypothèse qui généralise la thèse de Costère, soit que l'harmonie ne peut être dissociée du contenu fréquentiel des sons en jeu.

Même si ces résultats obtenus sont encourageants, nous remarquons que ce modèle présente quelques faiblesses, parmi lesquelles nous pouvons citer:

a) Les effets de registre (bande critique) ne sont pas pris en compte, ce qui implique que les transitions étudiées doivent être définies dans des registres "proches", soit avec un intervalle de pas plus d'une tierce.

b) Le modèle ne prend en compte des accords avec le même nombre de notes.

c) Les transitions ne sont que locales (accords pris deux à deux) et elles ont une mémoire de longueur "1". Ce qui signifie que nous ne prenons pas en compte des effets de contexte (tel que l'avait fait R. Parncutt [PARNCUTT 1989]). Cependant, pour des utilisations pratiques, il est possible, pour le moment, de considérer la tonicité de la série de coefficients de transitions.

d) En fonction des limites décrites ci-dessus et d'un manque de référence aux amplitudes des partiels dans la détermination des poids relatifs, ce modèle ne peut que gérer, pour le moment, que des sons avec des "timbres proches".

Nous espérons pouvoir prolonger cette étude, dans des travaux futurs, de manière à pouvoir combler les lacunes subsistantes.

### 5.0 Références

- [ASSAYAG&MALHERBE 1996] ASSAYAG G. MALHERBE C. - *REPMUS referenceManual*, IRCAM, Paris. 1996.
- [BARRIERE 1984] BARRIERE J.B. - "CHRÉODE I: chemins vers une nouvelle musique avec ordinateur", in *L'IRCAM: Une pensée Musicale*, Éditions des archives contemporaines, Paris 1984.
- [BARRIERE 1989] BARRIERE J.B.- "Écriture et modèles" in *Entretiens* n° 8, Paris, France 1989.
- [BARRIERE 1990a] BARRIERE J.B.- "Devenir de l'écriture musicale assistée par ordinateur: formalismes, formes, aides à la composition", in *Revue d'analyse musicale*, pp. 52-68, "3ème trimestre de 1990.
- [BARRIERE 1990b] BARRIERE J.B.- *Pour une esthétique de la musique avec ordinateur*, thèse de doctorat, Université de Paris I, Sorbonne, 1990.

- [BERTIN 1995] BERTIN J. - "Graphique (Représentation)", in *Encyclopædia Universalis*, pp. 741a-750b, France 1995.
- [CHOLLETON 1993] CHOLLETON J.P. - LE TEMPS ET LA FORCE, (à propos d'Ur et Kraft) in *Les Cahiers de L'IRCAM* n°3 sur Magnus Lindberg 1993.
- [COSTERE 1962] COSTERE E. - *Mort ou Transformation de l'Harmonie*, P.U.F., Paris 1962.
- [DALBAVIE 1981] DALBAVIE M. A. - "De l'écriture au timbre", in *Actes du Symposium "Systèmes personnels et informatique musicale"*, sans numéro de page, Ircam octobre 1981.
- [DALBAVIE 1985] DALBAVIE M. A. - "FORMALISME", in *Actualité de la Recherche*, Ircam, 1985.
- [DALBAVIE 1991] DALBAVIE M.A. - "Pour sortir de l'Avant-Garde", in *Le Timbre, Métaphore pour la Composition*, Textes réunis et présentés par Jean-Baptiste Barrière, Christian Bourgois Éditeur, IRCAM, Paris 1991.
- [GRISEY 1989] GRISEY G. - "Tempus Ex Machina", in *Entretemps* n° 8, Paris, France 1989.
- [GRISEY 1991] GRISEY G. - "Structuration des Timbres dans la Musique Instrumentale", in *Le Timbre, Métaphore pour la Composition*, Textes réunis et présentés par Jean-Baptiste Barrière, Christian Bourgois Éditeur, IRCAM, Paris 1991.
- [HAUTBOIS 1991] HAUTBOIS X. - *Formulation et formalisation des contraintes en informatique musicale*, mémoire de DEA de Musique et Musicologie du XX<sup>e</sup> siècle à EHES-IRCAM, Paris 1991.
- [LAURSON 1996] LAURSON M. - "PATCHWORK: A Visual Programming Language and some musical Applications", in *Studia Musica* n° 6, Sibelius Academy, Helsinki, 1996.
- [MALT 1993] MALT, Mikhail - *Introduction à Patchwork*, IRCAM, Paris, France 1993, (code de Laurson M., Duthen J., RUEDA C., AGON C. et ASSAYAG G.).
- [MALT 1994b] MALT M. "Modêlos Matemáticos e Composição Assistida por Computador, Sistemas Estocásticos e Sistemas Caóticos", in *Primeiro Simpósio de Computação e Música*, Caxambu, MG, Brésil 1994.
- [MALT 1996b] MALT M. - "Lambda3.99 (Chaos et Composition Musicale)", in *Troisièmes Journées d'Informatique Musicale JIM '96*, Ile de Tatihou, Normandie, France 1996.
- [MALT&BABONI SCHILINGI 1995a] MALT M., BABONI SCHILINGI J. PROFILE- libreria per il controllo del profilo melodico per Patchwork, "XI Colloquio di Informatica Musicale, Bologna. 1995.
- [MALT&BABONI SCHILINGI 1995b] MALT M., BABONI SCHILINGI J. - *Profile- Librairie pour le contrôle du profil mélodique*, manuel de référence IRCAM, Paris 1995, (code de MALT M. et BABONI SCHILINGI J.).
- [MATHEWS&al 1988] MATHEWS M. V., PIERCE J. R., REEVES A. et ROBERTS L.A. - "Theoretical and Experimental explorations of the Bohlen-Pierce scale", in *J. Acoust. Soc. Am.*, n°84 vol. 4, octobre 1988.
- [MURAIL 1984] MURAIL T. - "Spectes et Lutins" in *L'IRCAM: Une pensée Musicale*, pp. 167-181, Éditions des archives contemporaines, Paris 1984.
- [MURAIL 1989] MURAIL T. - "Questions de cible" in *Entretemps* n° 8, pp. 147-172, Paris, France, 1989.
- [PARNCUTT 1989] PARNCUTT R. - *Harmony: A Psychoacoustical Approach*, Springer-Verlag, Berlin 1989.
- [POLANSKY 1992] POLANSKY L. - "More on Morphological Mutations Functions Recent Techniques and Developments", in *ICMC-Proceedings*, San José California 1992.
- [POLANSKY&McKINNEY 1991] POLANSKY L., McKINNEY M. - "Morphological Mutations Functions", in *ICMC-Proceedings*, Montreal, 1991.
- [PRESSNITZER&al 1996] PRESSNITZER D., Mc ADAMS S., WINSBERG S., FINEBERG J. - "Tension et rugosité dans la musique non-tonale", in *Troisièmes Journées d'Informatique Musicale JIM '96*, pp. 147-155, Ile de Tatihou, Normandie, France 1996.
- [SAARIAHO 1985] SAARIAHO K. - "IRCAM/Recherche Musicale", in *Rapport d'activités*, Ircam 1985.
- [SAARIAHO 1991] SAARIAHO K. - "Timbre et Harmonie", in *Le Timbre, Métaphore pour la Composition*, pp.412-453, Textes réunis et présentés par Jean-Baptiste Barrière, Christian Bourgois Éditeur, IRCAM, Paris 1991.
- [SZENDY 1993b] SZENDY P. - "De Trei à Rhizomes-manuscrits inédits de Michael Jarrel", in *Genesis* n°4, Écritures musicales aujourd'hui-Textes réunis par Peter Szendy, pp. 159-187, Jean Michel Place, Paris, 1996.
- [VANDENHEEDE&HARVEY 1985] VANDENHEEDE J., HARVEY J. - "Identity and Ambiguity: the Construction and use of Timbral TRansitions and Hybrids", in *ICMC Proceedings*, 1985.