

Le logiciel GTE (Gravitation Tonale Explorer)

Emanuele Di Mauro

emanuele.dimauro@gmail.com

Expert en systèmes informatiques multimédia

ABSTRACT

La *Théorie de la gravitation tonale* [1] donne une lecture analytique des liens possibles entre l'univers de l'harmonie et celui de la mélodie.

En premier lieu, l'objectif de la théorie est de trouver de multiples combinaisons accords/gammes qui puissent exprimer un univers musical cohérent avec la perception sonore. Ces résultats sont triés en fonction de la similitude entre gammes d'une façon telle que le passage d'une gamme à l'autre soit le moins brusque possible.

Le logiciel GTE (Gravitation Tonale Explorer) exploite les résultats de la *Théorie de la gravitation tonale* afin de calculer les liens possibles entre une suite d'accords et les gammes liées possibles. Il s'agit donc d'un logiciel d'analyse de séquences d'accords.

L'analyse de progressions harmoniques connues (II-V-I, avec ou sans modulation, cycle des quintes...) donne lieu à des résultats tout à fait cohérents avec l'harmonie classique. En revanche, sur des séquences d'accords inusuelles, les associations accords/gammes peuvent conduire à des résultats difficilement imaginables à l'extérieur de la théorie, qui restent euphoniques au niveau de la perception sonore.

1. INTRODUCTION

La recherche du lien entre la structure harmonique (structure verticale) et l'univers mélodique (développement horizontal) a été traitée par *The chord scale theory* [2], une théorie musicale utilisée dans le jazz, qui étudie les associations accords/gammes pour improviser dans des séquences typiques d'accords.

La différence principale avec la *Théorie de la gravitation tonale* est liée à l'approche méthodologique. Les liens accords-gammes sont ici calculés à partir de trois principes mathématiques. L'explosion combinatoire (parfois des millions ou même des milliards de combinaisons de gammes) est traitée par une notion de similitude entre gamme, ce qui permet de trier les résultats. La *Théorie de la gravitation tonale* n'utilise aucune notion de tonalité, l'accord est un ensemble de notes qui n'a pas de tonique, et la notion de degré n'est pas utilisée. Les calculs sont faits à partir de n'importe quel enchaînement d'accords.

Comme démarche similaire, on trouve les travaux de Anthony Pople, un musicologue anglais qui a développé un logiciel en VBA, *Tonalities* [3], qui permet, entre autres, l'analyse d'une suite d'accords. Le logiciel travaille

sur des segments délimités par l'utilisateur (par exemple des mesures), mais avec une mémoire de ce qui est présent dans les segments précédents. Le logiciel indique comment les accords de chaque segment appartiennent à la tonalité, par exemple «*dominant seventh of G major*», et identifie éventuellement des notes étrangères. Il permet de définir un corpus de gammes¹ et d'accords, puis il est possible d'identifier des accords dans une gamme donnée².

2. LES BASES THEORIQUES

2.1 La théorie

La *Théorie de la gravitation tonale* relève de la Théorie des ensembles, elle traite donc les accords et les gammes comme ensembles de notes. Elle hérite de la *Set Theory* la notion de classe de hauteur et l'enharmonie [4] : les écritures enharmoniques d'une même hauteur ainsi que l'octave à laquelle celle-ci apparaît ne sont pas indiquées en raison de l'équivalence d'octave. En revanche, un autre formalisme d'écriture des ensembles est utilisé : les ensembles de notes sont représentés en forme binaire à 12 bit, ce qui permet l'utilisation d'opérateurs booléens qu'on peut implémenter en bases de données³. A la différence de la *Set Theory*, on garde une séparation entre l'univers de l'harmonie (structure musicale de type vertical) et celui de la mélodie (développement mélodique horizontal), et l'objectif premier est d'établir les liens entre ces deux univers.

La notion de tonalité est abandonnée et remplacée par celle de *Gravitation Tonale*. Il s'agit d'un univers musical limité par l'interdiction d'un son particulier, la *condensation tonale*. Cette limite harmonique est à la base du développement de toute la théorie.

2.2 La condensation tonale

La *condensation tonale* représente pour la théorie la limite infranchissable de l'univers de l'harmonie (définie

¹ Dans la théorie de la gravitation tonale, les gammes ne sont pas répertoriées, mais elles sont elles-mêmes calculées.

² Le fonctionnement du logiciel reste malgré tout obscur, car l'auteur, aujourd'hui décédé, a fourni les sources, mais il n'a pas laissé une documentation suffisamment claire.

³ Par exemple l'accord de Do Majeur peut s'écrire de la manière suivante : 100010010000

comme l'univers des notes qui peuvent se superposer). Elle est constituée par l'ensemble de 3 notes contiguës de la gamme chromatique.

On remarque que le son produit par la superposition d'une condensation tonale n'est jamais présent au sein du corpus des accords connus, comme le montre une étude réalisée par l'auteur (Figure 1).

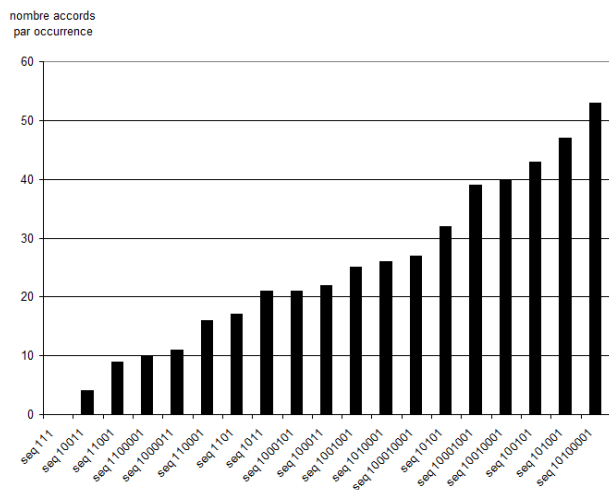


Figure 1. Distribution des combinaisons de 3 notes distinctes de la gamme chromatique en fonction du nombre d'accords qui les contiennent. Seulement les 12 condensations tonales ne sont jamais présentes dans le corpus d'accords de référence.

2.3 Les trois principes

L'exclusion de la condensation tonale est, avant tout, un principe harmonique. Ce son ne doit pas être présent au sein d'une œuvre musicale. En respectant ce principe, la musique qui en découle sera définie comme *musique gravitationnelle*.

L'extension de ce *principe d'exclusion* à l'aspect horizontal de la musique donne lieu à un corpus de gammes dites « *verticalisables* ». Il s'agit de toutes les gammes qui ne contiennent pas la condensation tonale. Dans une gamme verticalisable, n'importe quelle combinaison de notes peut toujours se superposer.

Ces gammes peuvent être calculées en appliquant un *principe de complétude* : une gamme verticalisable est complète si aucune note ne peut être ajoutée sans produire une condensation tonale. Ce principe permet de définir une gamme sans aucune ambiguïté. N'importe quelle autre gamme non verticalisable peut toujours être obtenue par combinaison de deux ou plusieurs gammes verticalisables.

L'application du principe de complétude donne lieu aux résultats suivants :

- La gamme diatonique, avec 12 transpositions
- La gamme mineure mélodique, avec 12 transpositions

- La gamme mineure harmonique, avec 12 transpositions
- La gamme majeure harmonique, avec 12 transpositions
- La gamme par ton, avec 2 transpositions
- La gamme ton, demi-ton, avec 3 transpositions
- La gamme demi-ton / tierce mineure, avec 4 transpositions

Ce corpus de gammes avait fait l'objet d'une étude de Dimitri Tymoczko en 1997 [5], qui avait établi toutes les gammes qui ne contiennent pas de demi-tons consécutifs (*consecutive semitones*). Il a appelé ces gammes "*no-consecutive-semitone scales*" et il a analysé l'utilisation de ces gammes dans la musique impressionniste et dans le jazz.

Ce corpus de 57 gammes (appelé par la théorie « **univers mélodique primaire** ») prend ici une signification différente. Il s'agit des seules gammes qui partagent avec les accords le *principe d'exclusion* qui peut en définitive s'appliquer à l'ensemble de tous les accords et aux 57 gammes de l'univers mélodique primaire.

Cela permet d'identifier tous les liens accords/gammes avec un simple *principe d'inclusion* : la gamme verticalisable doit contenir toutes les notes de l'accord avec lequel elle se lie.

2.4 La notion de contrainte

Un accord pour la théorie est une contrainte. Il est constitué par un ensemble de notes qui ne contiennent pas la condensation tonale. La mélodie est alors constituée à partir d'une ou plusieurs gammes sous-jacentes liées à la contrainte. Un enchaînement d'accords est vu comme un enchaînement de contraintes. Plusieurs accords peuvent être vus comme une même contrainte distribuée, à condition que l'ensemble de toutes les notes des accords ne contienne pas une condensation tonale. L'harmonie est alors traitée comme une structure faite par des notes (contraintes) qui s'imposent à la mélodie et donc aux gammes sous-jacentes (résultantes) tout au long d'une ligne temporelle.

2.5 La gravitation tonale

La notion de « **gravitation tonale** » est définie de la manière suivante :

La gravitation tonale est un espace musical multidimensionnel généré par un noyau de notes (contrainte) qui ne contiennent pas de condensation tonale. Chaque dimension est exprimée par le lien d'inclusion de la contrainte avec une gamme de l'univers mélodique primaire.

La contrainte peut être un accord, ou une suite d'accords, ou même une seule note et même aucune note (*contrainte universelle* qui génère toutes les 57 gammes verticali-

sables). En *Figure 2*, la gravitation tonale pour la suite d'accords $Dm|G7$ {ré, fa, sol, la si} :

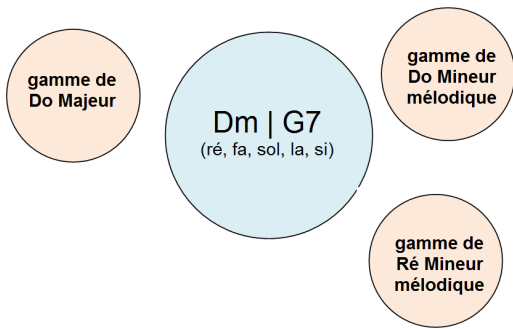


Figure 2. Gravitation tonale pour la contrainte $Dm|G7$ avec ses trois résultantes possibles (résultat obtenu par le logiciel gravitation-tonale).

2.6 Tonalité vs Gravitation tonale

Il n'existe pas de lien apparent entre la tonalité et la gravitation tonale, même si dans certains cas les deux notions peuvent converger. Une suite d'accords C, F, G, C, dont la tonalité est celle du Do majeur, est associée à une seule gravitation tonale qui génère une seule gamme verticalisable (gamme de Do majeur). Dans ce contexte les notions de tonalité et de gravitation tonale ont une certaine convergence (*Figure 3*).

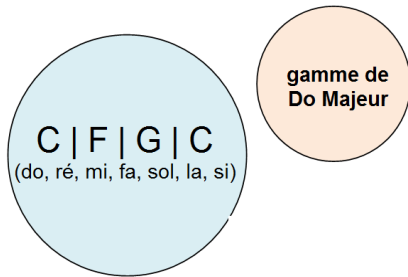


Figure 3. Gravitation tonale pour la contrainte $C|F|G|C$ avec sa seule possible résultante.

2.7 LA SEGMENTATION

Un processus de segmentation est censé nous fournir toutes les façons possibles de grouper les accords afin que chaque groupe d'accords puisse générer une gravitation tonale. Cette problématique aboutit, en général, à plusieurs solutions.

2.7.1 La segmentation atomique

Une première réflexion nous porte à dire qu'on peut toujours segmenter les accords vers des groupes ayant chacun un seul accord, et réaliser ce qu'on appelle une **segmentation atomique**. La séquence d'accords suivante :

Am | A7 | Dm | G7 | C

donnera alors lieu aux segments suivants :

[Am] [A7] [Dm] [G7] [C]

Chaque accord aura alors sa propre gravitation tonale et cela est toujours possible, car aucun accord ne contient une condensation tonale.

2.7.2 Processus de segmentation et groupement des accords

La découverte de toutes les segmentations possibles démarre à partir de la segmentation atomique, représentée en *Figure 4*. La ligne en pointillé représente une première ligne de gravitation. On y retrouve les gravitations tonales liées à chaque accord.

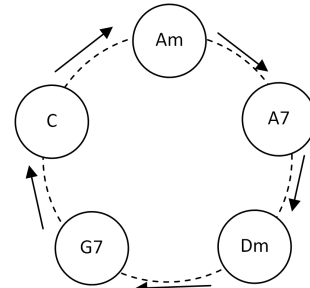


Figure 4. Segmentation atomique de la suite d'accords Am | A7 | Dm | G7 | C

Pour obtenir toutes les segmentations possibles, une deuxième ligne de gravitation va être constituée en essayant de grouper les gravitations tonales adjacentes. De la même façon, on construira une troisième ligne de gravitation, puis une quatrième, jusqu'au moment où on ne peut plus grouper les gravitations tonales adjacentes (*Figure 5*).

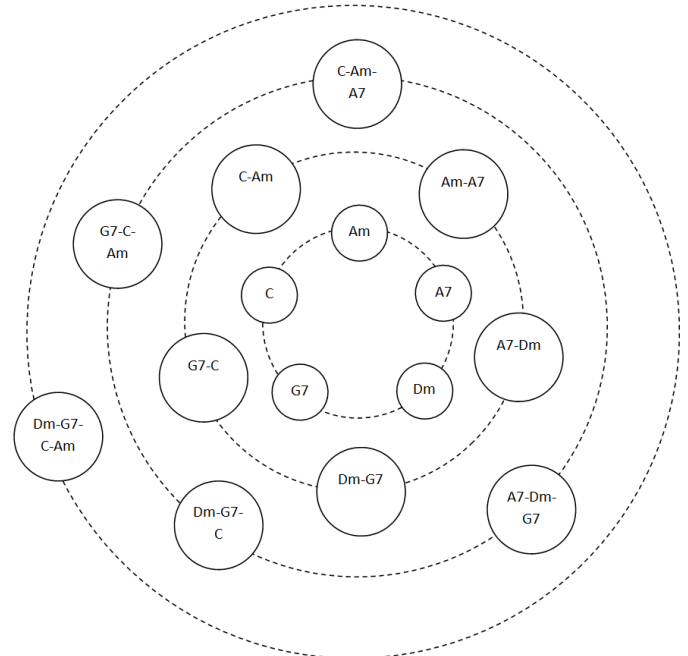


Figure 5. Toutes les 4 lignes de gravitation pour la suite d'accords Am | A7 | Dm | G7 | C. Aucune autre gravitation tonale ne peut être produite ultérieurement.

2.7.3 Exploration

En Figure 6, on explore un des parcours possibles à partir du premier accord Am jusqu'au dernier accord C.

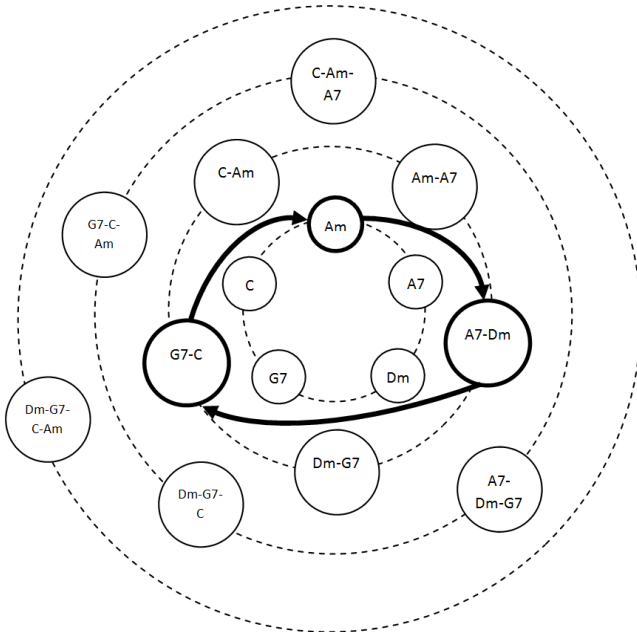


Figure 6. Possible segmentation:

[Am] [A7|Dm] [G7|C]

pour la suite d'accords Am | A7 | Dm | G7 | C

2.8 Le choix des gammes

Le problème du choix des gammes s'impose à partir du moment où plusieurs gravitations tonales existent et s'enchaînent.

On se doit de choisir la gamme qui sera utilisée pour chaque gravitation tonale. Ce choix ne peut pas se faire dans l'absolu, et il doit tenir compte des liens que cette gamme doit avoir avec les gammes liées aux autres gravitations tonales. Pour cela, on exploite un algorithme de comparaison entre deux gammes, qui donne un score de similitude entre 0 (pas de similarité, aucune note commune) et 12 (similarité maximale, les deux gammes sont identiques).

L'algorithme proposé par la théorie (qui n'a pas de valeur absolue, il s'agit d'une proposition ouverte) est alors le suivant :

-> On considère deux gammes à comparer
 -> On part d'un indice de similitude égal à 0
 -> Pour chacune des 12 notes chromatiques (do, do#, ré...) on vérifie si la note est présente dans les deux gammes

-> Si la note est présente dans les deux gammes, l'indice de similitude est incrémenté d'une valeur 1.

-> Si la note est absente dans les deux gammes, l'indice de similitude est incrémenté d'une valeur 1.

-> Si la note est présente dans une gamme, mais pas dans l'autre, l'indice de similitude n'est pas incrémenté.

Il est intéressant de remarquer que si on écrit les ensembles de notes avec une représentation binaire, la similitude entre deux gammes G1 et G2 peut être calculée via la formule suivante :

$$\text{Similitude}(G1,G2) = \text{BIT_COUNT}(\text{XNOR}(G1,G2))$$

L'avantage est de pouvoir exécuter ce calcul en base de données avec n'importe quelle implémentation SQL.

Ce score nous permet alors de trier les résultats combinatoires par similitude, ou par moyenne de similitude, et éventuellement par variance de similitude. En triant par ordre décroissant, on obtient en premier lieu les résultats qui expriment les transitions les plus douces en passant d'une gravitation tonale à l'autre (Figure 7).

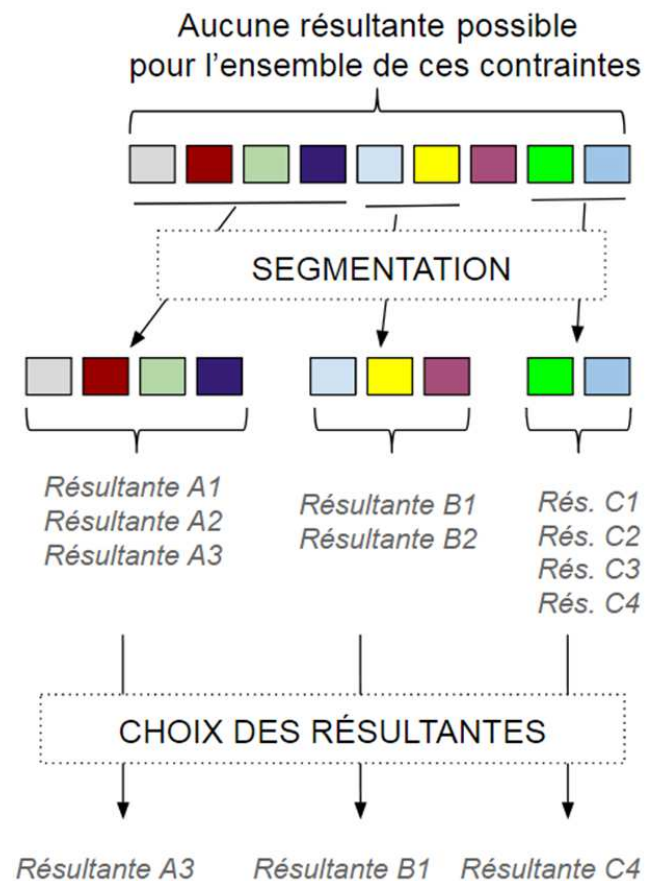


Figure 7. Choix des gammes pour une segmentation donnée.

3. LOGICIEL EN LIGNE

3.1 Le logiciel

Le logiciel GTE est disponible en ligne :

<http://www.gravitation-tonale.fr>

Il a été conçu pour mettre en application les 3 principes de la théorie de la gravitation tonale. Quatre outils sont mis à disposition, selon l'objectif visé (Figure 8) :



Figure 8. Les quatre onglets pour chaque objectif visé

Objectif 1 : déterminer, à partir d'un accord, toutes les possibles gammes liées.

Objectif 2 : déterminer, à partir d'une suite d'accords, toutes les gammes liées. Si la suite d'accords ne donne pas lieu à une gravitation tonale, le logiciel nous renvoie une alerte. Dans ce cas, aucune gamme ne sera affichée.

Objectif 3 : obtenir, à partir d'une suite d'accords, toutes les segmentations possibles (groupements des accords).

Objectif 4 : pour une segmentation donnée, obtenue en objectif 3, le logiciel nous propose toutes les combinaisons de gammes possibles, triées en ordre décroissant de similitude (moyenne et variance).

3.2 Objectif 1

Il s'agit ici de trouver toutes les gammes verticalisables pour un accord donné. Le logiciel répertorie 600 accords connus. On sélectionne alors l'accord (Figure 9) :

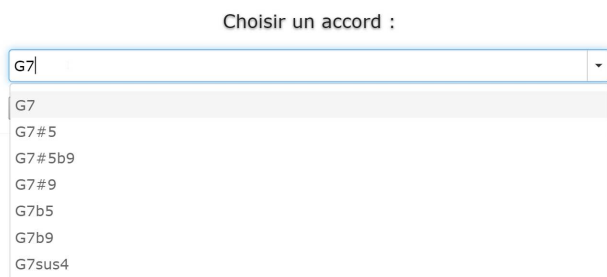


Figure 9 : Sélection d'un accord en objectif 1.

Suite au click sur le bouton « Trouver les gammes », le logiciel fournit donc les résultats (Figure 10).



Figure 10 : Toutes les gammes verticalisables associées à l'accord G7.

On remarque qu'on applique le principe enharmonique et que dans la notation proposée on utilise le dièse (#) pour toutes les notes qui n'appartiennent pas à la gamme de do majeur : do#, re#, fa#, sol#, la#. On remarque aussi qu'en Objectif 1, pour un accord donné, on trouvera toujours des gammes liées car aucun accord ne contient une condensation tonale.

3.3 Objectif 2

Il s'agit ici de trouver toutes les gammes liées à une séquence d'accords donnée. Le logiciel, dans ce cas, propose une sélection multiple. On sélectionne les accords et on clique sur le bouton de recherche (Figure 11).

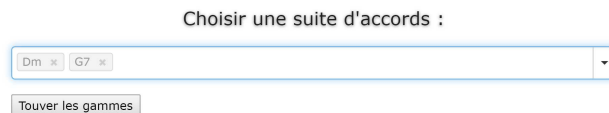


Figure 11 : Sélection de la suite d'accords Dm – G7.

On remarque, dans ce contexte, que l'ordre des accords n'a aucune importance. Tous les accords sélectionnés sont censés appartenir à une même gravitation tonale et chacun contribuera en fournissant à la contrainte ses propres notes.

Après validation, les résultats sont affichés (Figure 12).

† DO majeur / LA mineur

† DO mineure mélodique

† RE mineure mélodique

Figure 12 : Toutes les gammes verticalisables possibles pour la suite d'accords Dm – G7.

Si l'ensemble des notes des accords contient une condensation tonale, aucune gamme verticalisable ne pourra être associée.

Cela est le cas, par exemple, de la séquence A7–D7 (Figure 13).

Choisir une suite d'accords :

A7 D7

Trouver les gammes

Pour la contrainte obtenue à partir des accords A7,D7 :

il n'y a pas de gamme associée.
Aucune gravitation tonale est possible.

Figure 13 : Aucune gamme verticalisable pour la suite d'accords A7 – D7 (présence de la condensation tonale {c, c#, d}).

La suite d'accords qui ne peut pas produire de gamme verticalisable doit alors être séparée en groupe d'accords, chacun capable de produire une gravitation tonale (problématique de segmentation).

3.4 Objectif 3

Il s'agit ici de segmenter des accords qui ne peuvent pas constituer une gravitation tonale.

Prenons la séquence suivante :

Em7 – A7 – Dm7 – G7

En Objectif 2, on ne trouvera aucune gamme pour cette séquence d'accords, car elle contient les deux condensations tonales {si, do, do#} et {do, do#, ré} (Figure 14).

Em7 A7 Dm7 G7

Trouver les gammes

Pour la contrainte obtenue à partir des accords Em7,A7,Dm7,G7 :

il n'y a pas de gamme associée.
Aucune gravitation tonale est possible.

Figure 14. Aucune gamme verticalisable pour la séquence d'accords Em – A7 – Dm – G7

Dans ce cas, il faudra alors segmenter.

On saisit alors cette séquence en objectif 3 (Figure 15).

Choisir une suite d'accords :

Em7 A7 Dm7 G7

Segmenter

Figure 15. Recherche des segmentations pour la suite d'accords Em – A7 – Dm – G7

Les résultats sont reportés en Figure 16.

Résumé des segmentation possibles

Em7,A7	très doux(10)	Dm7,G7	obj4	Diatonicité
--------	---------------	--------	------	-------------

Figure 16. Segmentation obtenue pour la suite d'accords Em – A7 – Dm – G7

La suite d'accords Em7 – A7 – Dm7 – G7 est alors segmentée comme suit :

[Em7 – A7] [Dm7 – G7]

Du point de vue de l'harmonie classique, on remarque qu'on peut voir cet enchaînement d'accords comme le résultat d'une modulation descendante d'un ton.

(II-V) tonalité de Ré -> (II-V) tonalité de Do

3.5 Objectif 4

En Objectif 4, on calcule toutes les combinaisons possibles de gammes à partir d'une segmentation obtenue en objectif 3. Pour l'exemple en Figure 14, on clique sur le bouton « Obj 4 » (Figure 17) :

Em7,A7	très doux(10)	Dm7,G7	obj4	atonicité
--------	---------------	--------	------	-----------

Figure 17. Recherche de gammes pour une segmentation donnée

Cela conduit à des résultats triés par moyenne de similitude décroissante (Figure 18).

Segmentation Em7,A7 / Dm7,G7

Em7,A7	Simil	Dm7,G7	Moyenne	Ecart	
RE mineure mélodique	10	DO majeur / LA mineur	10	0	<input type="button" value="play"/> Composer
RE mineure mélodique	8	DO mineure mélodique	8	0	<input type="button" value="play"/> Composer
RE majeur / SI mineur	8	DO majeur / LA mineur	8	0	<input type="button" value="play"/> Composer
RE majeur / SI mineur	6	DO mineure mélodique	6	0	<input type="button" value="play"/> Composer

Figure 18. Toutes les possibles combinaisons de gammes pour la segmentation
[Em7 - A7] [Dm7 - G7]

On remarque que le meilleur score n'est pas celui qui enchaîne les deux gammes diatoniques (gamme de Ré et de Do). Le passage qui paraît moins brusque est celui qui considère pour les accords [Em7-A7] la gamme de Ré mineure mélodique et pour les accords [Dm7-G7] la gamme de Do Majeur. Cela montre bien comment fonctionne l'algorithme de similitude. La gamme de Ré mineur mélodique contient la note *fa* qui est présente dans la gamme de Do Majeur. La seule différence entre les deux gammes est liée au passage de la note *do#* vers la note *do*. En revanche, la gamme de Ré Majeur contient aussi la note *fa#* qui évolue vers la note *fa* quand on passe à la gamme de Do Majeur.

La transition :

Ré mineur mélodique ->(score 10)-> Do Majeur

est donc moins brusque par rapport au passage

Ré majeur ->(score 8)-> Do Majeur

4. EXEMPLES D'ANALYSE

4.1 Cycle des quintes

On considère la séquence d'accords :

E7 - A7 - D7 - G7 - C7

Le logiciel segmente cette séquence de la manière suivante :

E7	A7	D7	G7	C7
très doux(10)	très doux(10)	très doux(10)	très doux(10)	très doux(10)

Cela nous montre qu'il est impossible de grouper les accords. La seule segmentation possible est la segmentation atomique.

Compte tenu que chaque accord de 7ème est associé à 7 gammes, le nombre de combinaisons pour toutes les gammes issues de chaque gravitation tonale est de :

$$7^5 = 16.807$$

Le calcul sur la similitude entre résultantes nous donne le résultat en Figure 19.

E7	Simil A7	Simil D7	Simil G7	Simil C7	Moyenne	Ecart				
LA majeur / FA# mineur	10	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	10	FA majeur / RE mineur	10	0
LA mineure mélodique	8	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	10	FA majeur / RE mineur	9,5	1
LA majeur harmonique	8	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	10	FA majeur / RE mineur	9,5	1
LA majeur harmonique	10	RE mineure mélodique	8	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	10	FA majeur / RE mineur	9,5	1
LA majeur / FA# mineur	10	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	8	DO majeur harmonique	10	FA mineure mélodique	9,5	1
LA majeur / FA# mineur	10	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	8	FA majeur harmonique	9,5	1
LA majeur / FA# mineur	10	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	8	FA mineure mélodique	9,5	1
LA majeur / FA# mineur	10	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	8	SOL mineure mélodique	9,5	1
SI mineure mélodique	8	RE majeur / SI mineur	10	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	10	FA majeur / RE mineur	9,5	1
Gamme diminuée en RE	9	RE mineure mélodique	8	SOL majeur / MI mineur	10	DO majeur / LA mineur	10	FA majeur / RE mineur	9,3	1

Figure 19. Les combinaisons de gammes ayant un plus fort score pour la segmentation
[E7] [A7] [D7] [G7] [C7]

Parmi les 16.807 combinaisons, celle qui a le score le plus fort est soulignée en rouge.

Du point de vue de l'harmonie classique, on peut dire que chaque accord de 7ème évolue vers la tonique et on utilise la gamme diatonique correspondante. Il s'agit du résultat maximal avec un score moyen de 10 et un écart de 0. Concernant les autres résultats : 47 combinaisons ont un score moyen supérieur ou égal à 9; 16.759 combinaisons ont un score inférieur à 9.

4.2 Séquence d'accords Em7 / A7 / D / Dm7 / G7 / C

Du point de vue de l'harmonie classique, il s'agit de 2 enchaînements (II-V-I) avec une modulation (passage de la tonalité de Ré Majeur à celle du Do Majeur).

La segmentation détectée par le logiciel est la suivante :

[Em7 | A7 | D] [Dm7 | G7 | C]

Il s'agit donc de 2 gravitations tonales distinctes qui ne peuvent pas être fondues dans une seule gravitation.

Les résultats combinatoires des gammes impliquées nous conduit à un seul résultat (Figure 20). On remarque, dans cet exemple, une certaine convergence entre la notion de gravitation tonale et de tonalité.

Nombre de combinaisons de gammes : 1

Em7,A7,D	Simil	Dm7,G7,C
RE majeur / SI mineur	8	DO majeur / LA mineur

Figure 20. Gammes obtenues pour la segmentation
[Em7 | A7 | D] [Dm7 | G7 | C]

La segmentation nous a permis de restreindre les résultats à une seule combinaison possible⁴.

⁴ Dans une segmentation atomique on aurait eu 345.744 combinaisons de gammes.

4.3 Le standard jazz Solar

Solar (Figure 21) est un standard jazz, composé par Miles Davis.

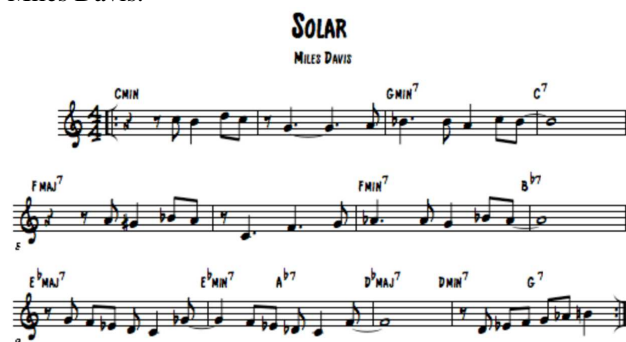


Figure 21. Solar, Miles Davis

On applique la théorie de la gravitation tonale à la séquence d'accords suivante :

Cm - Gm7 - C7 - F Maj7 - Fm7 - A#7 - D# Maj7 - D#m7 - G#7 - C# Maj7 - Dm7 - G7

L'application de l'objectif 3 à cette suite d'accords nous donne les 2 segmentations en Figure 22.

Cm,Gm7	très doux(10)	C7,F#Maj7	doux(8)	Fm7,A#7,D#Maj7	doux(8)	D#m7,G#7,C#Maj7	brusque(4)	Dm7,G7
Cm	très doux(10)	Gm7,C7,F#Maj7	doux(8)	Fm7,A#7,D#Maj7	doux(8)	D#m7,G#7,C#Maj7	brusque(4)	Dm7,G7

Figure 22. Deux segmentations pour Solar

La seule différence entre ces deux résultats est la position de l'accord Gm7 qui se trouve dans le premier ou dans le deuxième segment.

Analyse de la première segmentation

Le calcul de similitude entre les gammes nous donne le résultat en Figure 23 :

Cm,Gm7	Simil	C7,F#Maj7	Simil	Fm7,A#7,D#Maj7	Simil	D#m7,G#7,C#Maj7	Simil	Dm7,G7	Moyenne	Ecart
Sib majeur / SOL mineur	10	FA majeur / RE mineur	8	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	4	DO mineure mélodique	7.5	2.5
RE# majeur / DO mineur	8	FA majeur / RE mineur	8	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	4	DO mineure mélodique	7	2
Sib majeur / SOL mineur	10	FA majeur / RE mineur	8	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	2	DO majeur / LA mineur	7	3.5
RE# majeur / DO mineur	8	FA majeur / RE mineur	8	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	2	DO majeur / LA mineur	6.5	3
Sib majeur / SOL mineur	8	FA majeur harmonique	6	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	4	DO mineure mélodique	6.5	1.9
RE# majeur / DO mineur	6	FA majeur harmonique	6	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	4	DO mineure mélodique	6	1.6
Sib majeur / SOL mineur	8	FA majeur harmonique	6	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	2	DO majeur / LA mineur	6	2.8
RE# majeur / DO mineur	6	FA majeur harmonique	6	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	2	DO majeur / LA mineur	5.5	2.5

Figure 23. Combinaisons de gammes pour Solar

En Figure 24, le meilleur score, avec une moyenne de similitude égal à 7.5 et une variance de 2.5 :

Cm,Gm7	Simil	C7,F#Maj7	Simil	Fm7,A#7,D#Maj7	Simil	D#m7,G#7,C#Maj7	Simil	Dm7,G7	Moyenne	Ecart
Sib majeur / SOL mineur	10	FA majeur / RE mineur	8	RE# majeur / DO mineur	8	DO# majeur / LA# mineur	4	DO mineure mélodique	7.5	2.5

Figure 24. Solar - résultat avec le plus fort score.

On remarque qu'il s'agit des gammes couramment utilisées pour improviser dans le standard jazz Solar.

4.4 Séquence d'accords C# | G | C

Il s'agit d'une séquence d'accords II-V-I particulière, où l'accord sous-dominant est remplacé par un accord majeur situé un demi-ton au-dessus de l'accord de tonique. On appelle cet accord la "sixte napolitaine".

La séquence C# | G | C ne peut pas se trouver dans une seule gravitation tonale à cause des condensations tonales {si, do, do#} et {do, do#, ré}. Un processus de segmentation est alors nécessaire (Figure 25).

C#,G	très doux(9)	C
C#	très doux(9)	G,C

Figure 25. Segmentations pour la suite d'accords C#, G, C

4.4.1 Analyse de la segmentation [C#] [G|C]

Dans ce cas, l'accord de sixte napolitaine est isolé dans une gravitation tonale à part. Les combinaisons des gammes (score supérieur à 6) pour cette segmentation sont reportées en Figure 26.

C#	Simil	G,C
Gamme diminuée en RE	9	DO majeur harmonique
FA mineure harmonique	8	DO majeur harmonique
LA majeur harmonique	8	DO majeur harmonique
LA majeur harmonique	8	DO majeur / LA mineur
DO hexatonique	7	DO majeur harmonique
DO hexatonique	7	DO majeur / LA mineur
Gamme diminuée en RE	7	DO majeur / LA mineur
SOL# majeur / FA mineur	6	DO majeur harmonique
FA mineure harmonique	6	DO majeur / LA mineur
LA majeur harmonique	6	SOL majeur / MI mineur
FA# mineure harmonique	6	DO majeur harmonique
FA# mineure harmonique	6	DO majeur / LA mineur
FA# mineure harmonique	6	SOL majeur / MI mineur
FA# majeur harmonique	6	DO majeur harmonique
SOL# mineure mélodique	6	DO majeur harmonique

Figure 26. Les combinaisons possibles de gammes (avec un score moyen >=6) pour la séquence de sixte napolitaine C#|G|C, segmenté en [C#] [G|C]

Le score le plus important entre les deux gravitations tonales est égal à 9. L'analyse montre que, dans ce cas, la gamme utilisée pour les accords [G, C] est la gamme de *Do majeur harmonique*. On utilisera la *gamme diminuée en Ré* dans l'accord [C#] de sixte napolitaine.

Si on utilise la gamme de *Do majeur* dans le segment [G|C], la gamme à utiliser pour l'accord de sixte napolitaine est la gamme de *La majeur harmonique*, et le score diminue (score = 8).

4.4.2 Analyse de la segmentation [C#|G] [C]

Dans ce cas, l'accord de sixte napolitaine constitue une gravitation tonale avec l'accord de *Sol Majeur*. L'accord de *Do Majeur* se trouve isolé dans sa propre gravitation tonale.

Les combinaisons des gammes pour cette segmentation sont reportées en *Figure 27*.

On remarque que le score plus important entre les deux gravitations tonales est encore égal à 9, mais dans ce cas la gamme utilisée dans l'accord de *Do Majeur* est la gamme de *Fa mineur harmonique*.

Pour le segment [C#|G] le logiciel propose la *gamme diminuée en Ré*.

On peut utiliser la gamme de *Do Majeur* dans le segment [C], mais elle aura un score de similitude égal à 7 avec la *gamme diminuée en Ré*, utilisée dans le segment [C# | G].

C#,G	Simil	C
Gamme diminuée en RE	9	FA mineure harmonique
Gamme diminuée en RE	9	FA mineure mélodique
Gamme diminuée en RE	9	DO majeur harmonique
Gamme diminuée en RE	7	SOL# majeur harmonique
Gamme diminuée en RE	7	FA majeur harmonique
Gamme diminuée en RE	7	FA majeur / RE mineur
Gamme diminuée en RE	7	DO majeur / LA mineur
Gamme diminuée en RE	6	RE# hexatonique
Gamme diminuée en RE	5	SOL mineure mélodique
Gamme diminuée en RE	5	SOL majeur / MI mineur
Gamme diminuée en RE	4	Gamme diminuée en DO#
Gamme diminuée en RE	3	MI mineure harmonique

Figure 27. Toutes les combinaisons possibles de gammes pour la séquence d'accords C#|G|C, segmentée en [C#|G] [C]

4.5 Séquence Fm | Em | C7 | C#Maj7

Il s'agit d'une séquence d'accords inusuelle. On ne peut pas facilement identifier une tonalité globale. Associer des gammes à ces accords paraît difficile et arbitraire.

L'accord de *Fa mineur* est suivi par un accord de *Mi mineur*, chose qui nous fait penser à une modulation descendante d'un demi-ton. On peut imaginer que l'accord de *Fa mineur* soit construit sur le 3ème degré de la gamme de *Do# majeur* et cela permet d'identifier un lien entre l'accord *Fa mineur* et l'accord *Do# Maj7*. Le *Do7* paraît évoluer lui aussi vers la tonique *fa* qui pourrait bien être liée à l'accord de *Fa mineur*. En revanche, il est difficile d'imaginer une fonction tonale pour l'accord de *Mi mineur*.

Bien que la perception musicale soit relative et personnelle, cet enchaînement d'accords donne à l'auteur de l'article une sensation agréable, une sorte de sentiment mélancolique. Le logiciel GTE sera utilisé pour fournir à l'auteur une aide à la composition. En premier lieu, la question que l'on se pose ici est celle d'identifier les gammes qui puissent être associées à chacun de ces accords.

4.5.1 Analyse

Le logiciel GTE segmente cette séquence d'accords de la manière suivante (*Figure 28*) :

Résumé des segmentation possibles

Fm,Em	doux(8)	C7,C#Maj7	obj4	Diatonicité
-------	---------	-----------	------	-------------

Figure 28. Segmentations pour la séquence d'accords Fm | Em | C7 | C#Maj7

Les accords *Fa mineur* et *Mi mineur* sont groupés dans la même gravitation tonale. Une autre gravitation tonale est constituée par les accords *Do7* et *Do#Maj7*.

Pour cette segmentation, le logiciel détecte un seul résultat (*Figure 29*) :

Segmentation Fm,Em / C7,C#Maj7

Fm,Em	Simil	C7,C#Maj7	Moyenne	Ecart
DO majeur harmonique	8	FA mineure harmonique	8	0

Figure 29. Un seul résultat pour la segmentation [Fm | Em] [C7|C#Maj7]

Les accords *Fa mineur* et *Mi mineur* sans lien apparent, sont groupés ensemble et liés à la gamme de *Do majeur harmonique*. Les accords *Do7* et *Do#Maj7* seront liés à la gamme de *Fa mineur harmonique*.



Figure 28. QR Code d'une composition (Autunno) se basant sur les gammes détectées par le logiciel GTE. Séquence d'accords Fm | Em | C7 | C#Maj7 segmentée en [Fm | Em] [C7|C#Maj7]

5. CONCLUSIONS

Le logiciel GTE (Gravitation Tonale Explorer), se basant sur l'application des trois principes de la *Théorie de la gravitation tonale*, est utilisé pour l'analyse de séquences d'accords.

Tout d'abord, les accords sont séparés en groupes (segmentation), puis le logiciel associe à chaque groupe d'accords une ou plusieurs gammes. L'enchaînement combinatoire de toutes ces gammes est par la suite trié, utilisant une notion de similitude entre gammes.

On peut différencier deux types d'analyse. D'une part il s'agit de tester des progressions harmoniques connues. Cela nous donne l'avantage de pouvoir vérifier les résultats obtenus. Par exemple, sur un cycle de quintes (enchaînement d'accords de 7ème de dominante), le logiciel détecte, pour chaque accord, la gamme diatonique vers laquelle l'accord dominant converge. Sur des progressions harmoniques qui contiennent des modulations ou changements de tonalité, les segmentations proposées par le logiciel, ainsi que les gammes détectées, paraissent en ligne avec les résultats qu'on s'attend par une analyse se basant sur les règles de l'harmonie classique. Même si le logiciel n'exploite pas la notion de tonalité, mais plutôt celle de la *Gravitation tonale*, on remarque, dans ce type d'analyse, une certaine convergence entre les deux notions.

L'autre aspect traité dans l'article concerne l'analyse de séquences d'accords atypiques, où il est difficile d'imaginer une notion de tonalité. Dans ce cas, le logiciel conduit à des segmentations et des liens accords/gammes, difficilement imaginables autrement. Suite à la segmentation, le passage entre groupes d'accords est exprimé par le passage d'une gamme à l'autre, avec un calcul qui présente en premier lieu les gammes qui maximisent le score moyen de similitude. Dans ce contexte, on peut considérer GTE comme un logiciel d'aide à la composition musicale.

Un exemple de composition est proposé, se basant sur une séquence d'accords atypique, analysée par le logiciel (QR code en *Figure 28* et *url* dans la section RESSOURCES).

6. REFERENCES

- [1] Emanuele Di Mauro (2018). « La théorie de la gravitation tonale ». *Journées d'Informatique Musicale*, May 2018, Amiens, France. pp.135-138.
- [2] Nettles, B., & Graf, R. (1997). *The chord scale theory & jazz harmony*. Advance music.
- [3] POPLE, Anthony (2004). « Using complex set theory for tonal analysis: an introduction to the Tonalities project ». *Music Analysis*, vol. 23, no 2-3, p. 153-194.

[4] BABBITT Milton (1960). « Twelve-Tone Invariants as Compositional Determinants », *Musical Quarterly* 46, pp. 246-259.

[5] TYMOCZKO Dimitri (1997). « The Consecutive-Semitone Constraint on Scalar Structure: A Link Between Impressionism and Jazz ». *Integral* 11: pp. 135-179.

7. RESSOURCES

Logiciel en ligne

www.gravitation-tonale.fr

Aspects algorithmiques de la *Théorie de la gravitation tonale* :

www.gravitation-tonale.fr/algos.pdf

Composition "*Autunno*"

<https://youtu.be/A07EVBsN9E4>

Séquence d'accords :

Fm - Em - C7 - C#Maj7

segmenté en :

[Fm - Em] -> Gamme de Do majeur harmonique
[C7-C#Maj7] -> Gamme de Fa mineur harmonique