

Cours 2016-2017:

**Parole, musique, mathématiques :
Les langages du cerveau**

Stanislas Dehaene
Chaire de Psychologie Cognitive Expérimentale

Cours n°3

L'organisation des structures musicales

Ancienneté et universalité du phénomène musical

Conard, N. J., Malina, M., & Münzel, S. C. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature*, 460(7256), 737–740. <http://doi.org/10.1038/nature08169>

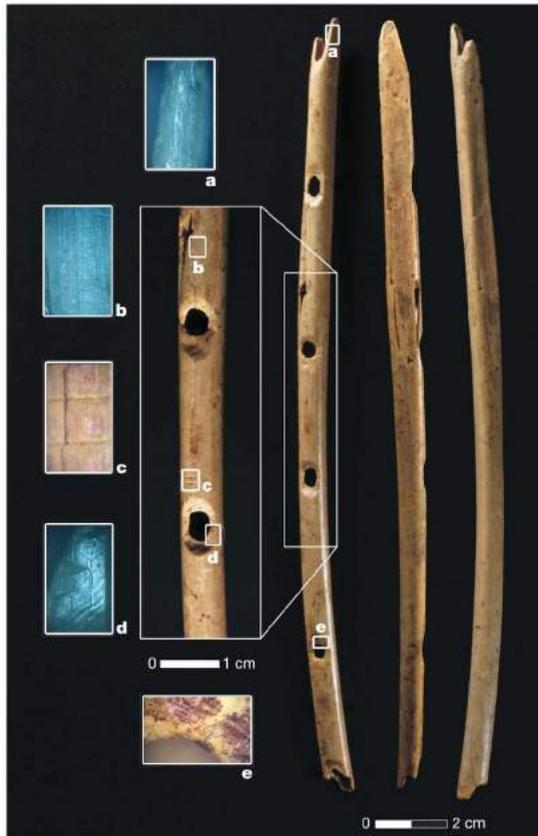


Figure 1 | Bone flute from Hohle Fels archaeological horizon Vb. Photomicrographs documenting striations and notches from manufacture and polish from use: **a, b, d**, incident-light fluorescence mode (ultraviolet and violet-light excitation); **c, e**, incident light, obliquely crossed polars, λ plate. The photomicrographs were made with a Leica DMRX-MPV SP microscope photometer. The long axis of the micrographs is 2.8 mm long.

Découverte dans la grotte de Hohle Fels, dans le Jura souabe (Bade-Wurtemberg), en Allemagne, de plusieurs flutes d'os et d'ivoire, dans des couches clairement datées du paléolithique supérieur.

“These finds demonstrate the presence of a well-established musical tradition at the time when modern humans colonized Europe, more than 35,000 calendar years ago.”

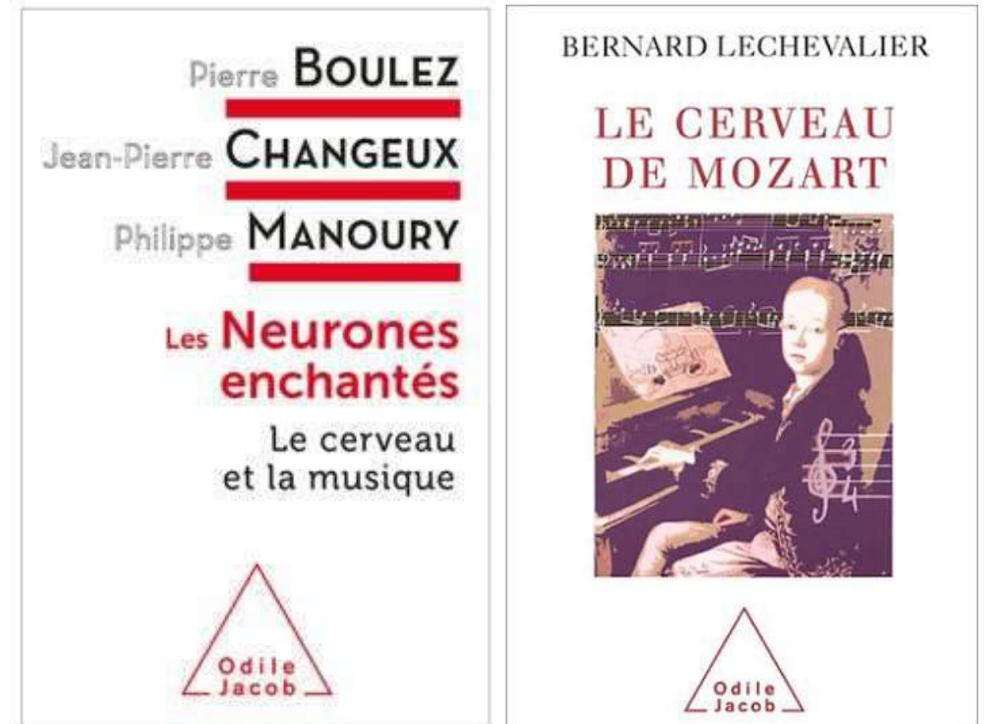
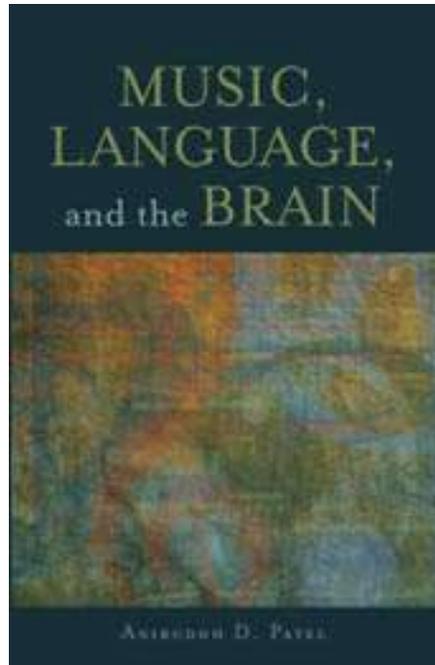
Certaines flutes, datées jusqu'à -60000 ans, ont été attribuées à Néanderthal...



... mais leurs perforations correspondent en fait à l'espacement des canines de hyènes !

Diedrich, C. G. (2015). “Neanderthal bone flutes”: simply products of Ice Age spotted hyena scavenging activities on cave bear cubs in European cave bear dens. *Royal Society Open Science*, 2(4), 140022.

Patel, A. D. (2010). *Music, Language, and the Brain*. Oxford University Press, USA.



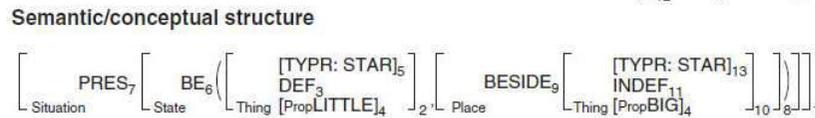
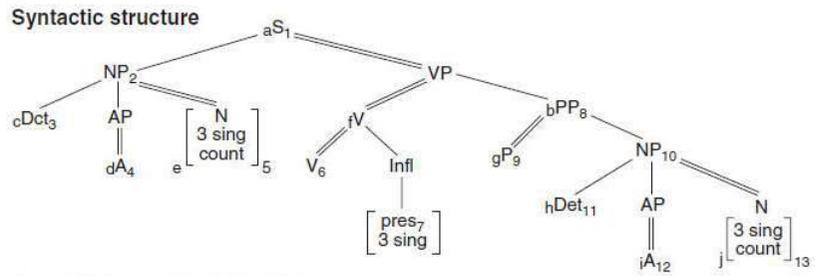
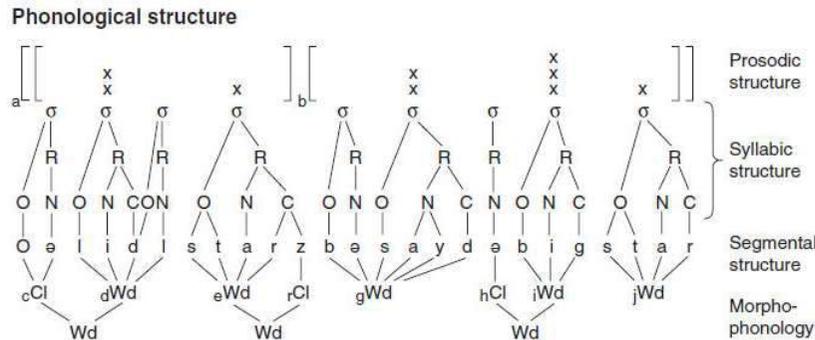
Voir aussi:

- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6(7), 674–681. <http://doi.org/10.1038/nn1082>
- Katz, J., & Pesetsky, D. (2011). The identity thesis for language and music. URL <http://ling.auf.net/lingbuzz/000959>. Retrieved from <http://ling.auf.net/lingbuzz/000959/v1.pdf>

Et pour une introduction très claire aux niveaux de structure en musique:

- Collins, Tom, Barbara Tillmann, Frederick S. Barrett, Charles Delbé, and Petr Janata. 2014. “A Combined Model of Sensory and Cognitive Representations Underlying Tonal Expectations in Music: From Audio Signals to Behavior.” *Psychological Review* 121 (1): 33–65. doi:10.1037/a0034695.

Langage et musique sont composés de multiples niveaux hiérarchiques



« the little star is beside a big star »

from Jackendoff, R. (2002). *Foundations of language: Brain, meaning, grammar, evolution*. Oxford University Press

Langage

Structure phonologique:
 Prosodie
 Syllabe
 Phonèmes
 Morphèmes

Musique

Rythme? Contour?
 Accord?
 Notes? Gammes?
 Motifs?

Structure syntaxique

Structure harmonique,
 mélodique et rythmique

Structure sémantique
 ou conceptuelle

Mais...
 Aucun équivalent musical de propriétés linguistiques comme les catégories lexicales (nom, verbe...), le sens des phrases, etc...

Structure spatiale

L'hypothèse d'une ressource syntaxique partagée

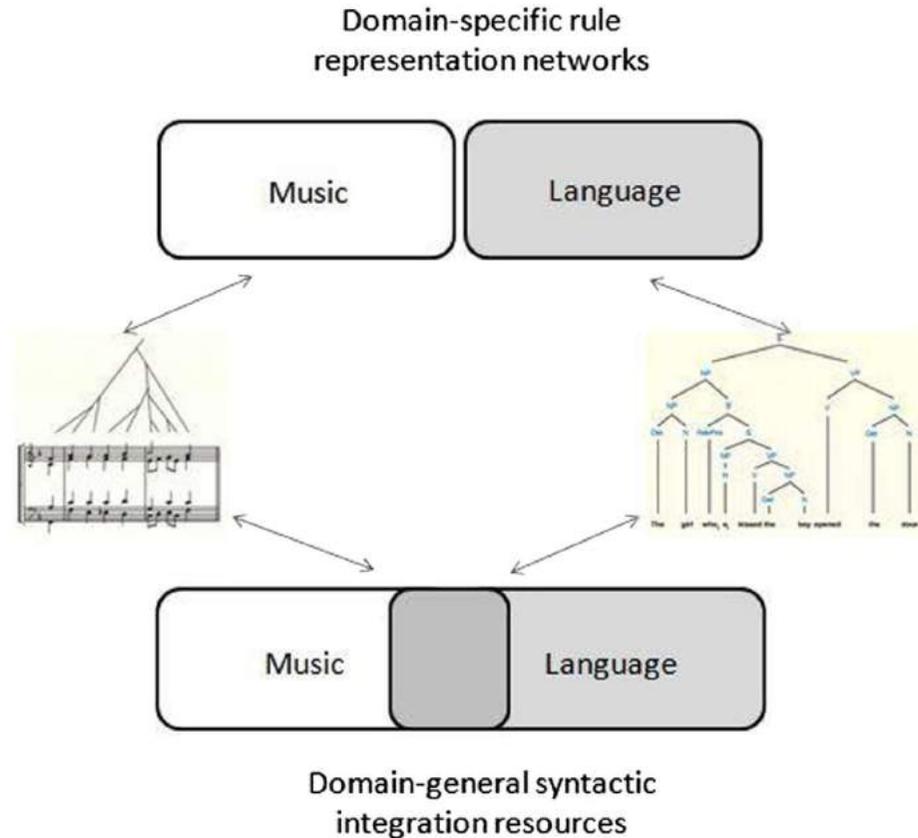
Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6(7), 674–681.

“shared syntactic integration resource hypothesis” (Patel, 1998, 2003)

L'hypothèse de Patel est que les séquences musicales et linguistiques sont toutes deux représentées sous forme de structures hiérarchiques enchâssées.

Les règles syntaxiques qui gouvernent ces représentations seraient propres à chaque domaine, mais leur exécution feraient appel à des ressources partagées.

Les réseaux de représentation des règles propres à chaque domaine expliqueraient les dissociations neuropsychologiques entre amusie et aphasie, tandis que le partage des ressources expliquerait les interférences entre langage et musique lorsque nous devons traiter simultanément les deux.



Quelles sont les relations entre structures musicales et linguistiques?

La thèse de l'identité langage-musique de Katz et Pesetsky

Katz, J., & Pesetsky, D. (2011). The identity thesis for language and music. URL [Http://ling. Auf. net/lingBuzz/000959](http://ling.auf.net/lingbuzz/000959). Retrieved from <http://ling.auf.net/lingbuzz/000959/v1.pdf>

Katz et Pesetsky proposent qu'il est utile d'examiner, en première hypothèse, une vision extrême: les lexiques différent, mais les structures syntaxiques sont les mêmes.

« toutes les différences entre langage et musique sont la conséquence de différences entre leurs éléments constitutifs fondamentaux (*building blocks*):

- Des appariements arbitraires de sons et de sens dans le cas du langage
- Des notes (*pitch-classes*) et des combinaisons de notes dans le cas de la musique

A tous les autres égards, le langage et la musique sont **identiques**. »

Katz et Pesetsky suggèrent que, si jusqu'à présent, on n'a pas observé de parallèles aussi étroits, c'est parce que

1. Les buts de la « grammaire générative » étaient différents dans les deux domaines
 - Lehrdahl & Jackendoff : analyse de morceaux de musique, passage de la structure linéaire des notes à leur structure profonde et arborescente = règles d'analyse grammaticale (« *parser* »):
« En bref, le système peut être considéré comme prenant en entrée, la forme de surface d'un morceau de musique, et produisant en sortie, la structure que l'auditeur entend. »
 - Chomsky et ses collègues: propriétés partagées par toutes les phrases d'une langue donnée permettant de déterminer si une phrase est ou n'est pas grammaticale (*grammaire générative*), voire propriétés communes à l'ensemble des langues (*grammaire universelle, principes et paramètres*).
2. La notation et le « style de présentation » étaient différents (les arbres, par exemple, ne sont pas notés de la même manière).
3. Certaines phénomènes sont presque invisibles dans l'un des domaines (exemple du mouvement syntaxique)

Les structures musicales : la note

La musique tonale s'appuie sur des séquences de sons qui varient dans leur **hauteur** tonale (*pitch*).

Attention! Ne pas confondre **hauteur** et **fréquence** – ces deux concepts ne sont confondus que pour les tons purs. Si un son contient de multiples fréquences, et que celles-ci sont des multiples (harmoniques) d'une fréquence fondamentale, on attribue à ce son la *hauteur* de la fondamentale (même s'il n'y a aucune énergie à cette fréquence dans le son! Phénomène de la « fondamentale manquante »).

[de façon intéressante, la métaphore de la « hauteur » n'est pas universelle – les indiens Havasupai parlent de sons « durs » et « doux », et les Kpelle du Nigéria, de sons « petits » et « grands »]

Le jugement de **similarité ou consonance** des hauteurs tonales dépend de relations d'octave et de quinte.

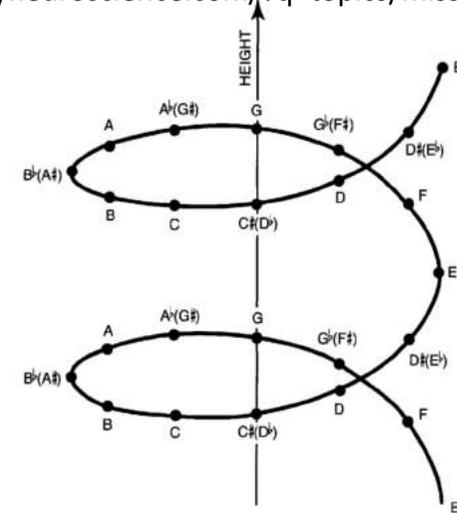
Une structure en hélice est nécessaire pour expliquer que les notes reliées par une relation d'octave soient perçus comme similaires

(la compréhension de cette structure bidimensionnelle a conduit Roger Shepard à dé-corréler les deux dimensions, créant un son de hauteur fixe mais de tonalité variable).

Une deuxième hélice prend en compte le « cycle des quintes ». L'ensemble forme un tore... en 5 dimensions!

Ecouter une fondamentale manquante:

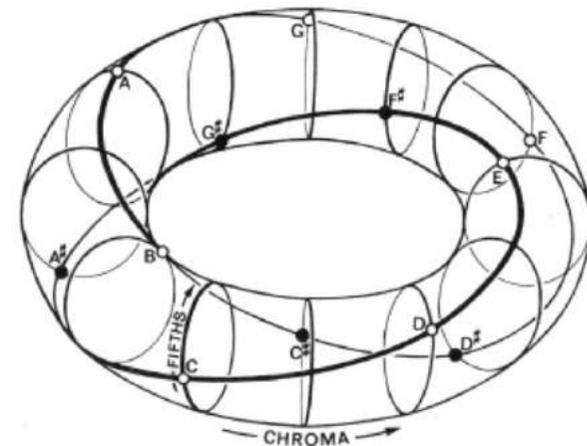
<http://auditoryneuroscience.com/?q=topics/missing-fundamental>



Ecouter un glissando de Shepard-Risset:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Descentel>

A. Chroma and Circle-of-Fifths Torus



Les structures musicales : la gamme

Les hauteurs tonales s'organisent en **notes** (*pitch class ou chroma*) au sein d'une **octave**, et en **gammes**

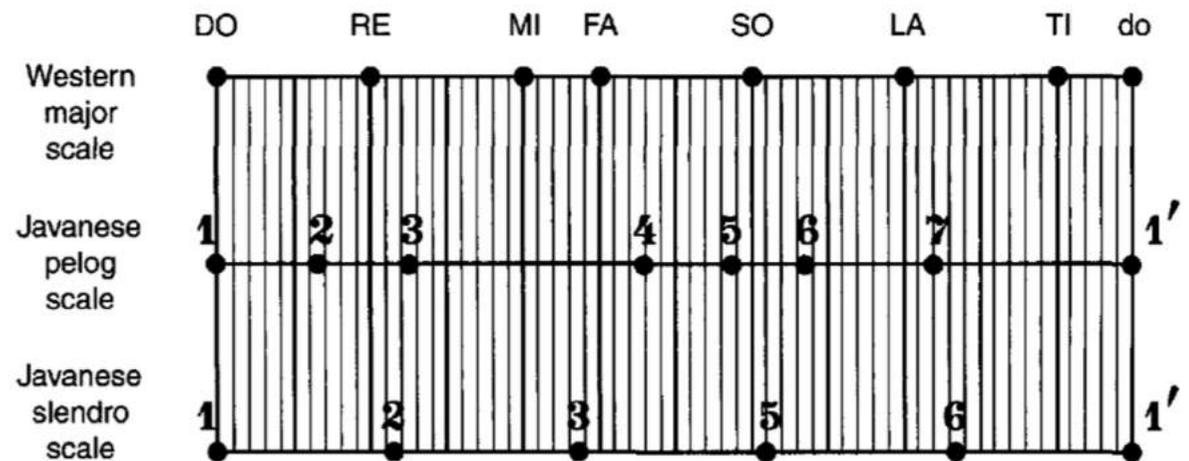
La gamme utilisée définit la **tonalité** ou la **clé** (*key*) d'un morceau de musique.

Exemple: gamme de do majeur.

Universalité du concept de **gamme**: La majorité des cultures du monde se choisissent un petit jeu de sons musicaux (**notes**) qui subdivisent l'octave et qui reviennent fréquemment.

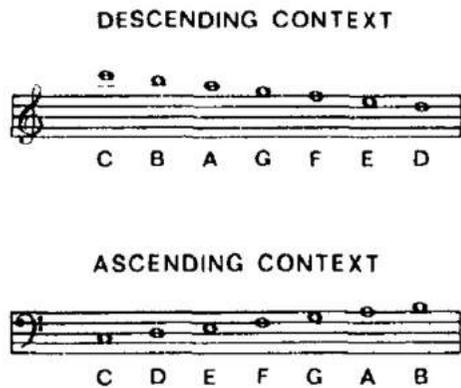
En dépit de leur diversité et de variations dans leur précision, au moins 3 propriétés de ces gammes semblent des universaux transculturels:

- Entre 5 et 7 notes
- Espacées d'entre 1 à 3 demi-tons (ce qui maximise la discriminabilité)
- Irrégulièrement espacées (ce qui pourrait faciliter l'identification des différentes notes)



Les structures musicales : la gamme

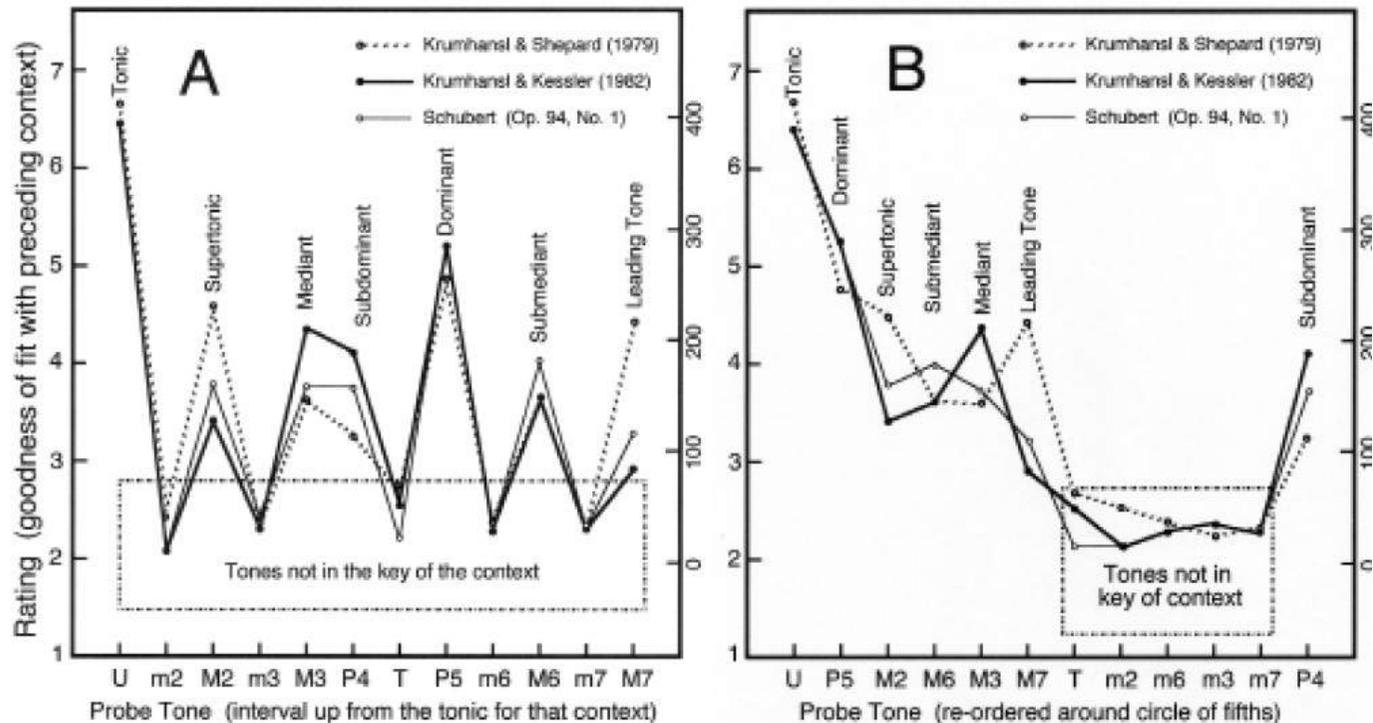
Travaux de Krumhansl et Shepard (1979) (Krumhansl, *Cognitive Foundations of Musical Pitch*, 1990):
 On demande à des sujets occidentaux de juger l'adéquation d'une note au sein d'une gamme (en mode majeur) ou d'une séquence d'accords (cadence).
 Cette adéquation varie comme une fonction directe de la distance dans le cycle des quintes.
 Elle correspond également à la fréquence d'usage de ces notes en musique classique (par ex. Schubert)



FINAL NOTES



Figure 1. The descending and ascending context sequences of seven tones of the C major scale and the 13 chromatic alternative test tones from the intervening octave that might immediately follow the context sequence.



Pour rendre compte des similarités entre les notes, il faut faire appel à un espace à cinq dimensions

- Une dimension de hauteur (*pitch*)
- Deux dimensions pour représenter le cycle des octaves (*chroma*)
- Deux dimensions pour représenter le cycle des quintes.

Voici une représentation en projection de quatre de ces cinq dimensions.

Plus les sujets ont de la culture musicale, plus les poids sont (1) équilibrés dans le cycle des octaves; (2) importants dans le cycle des quintes

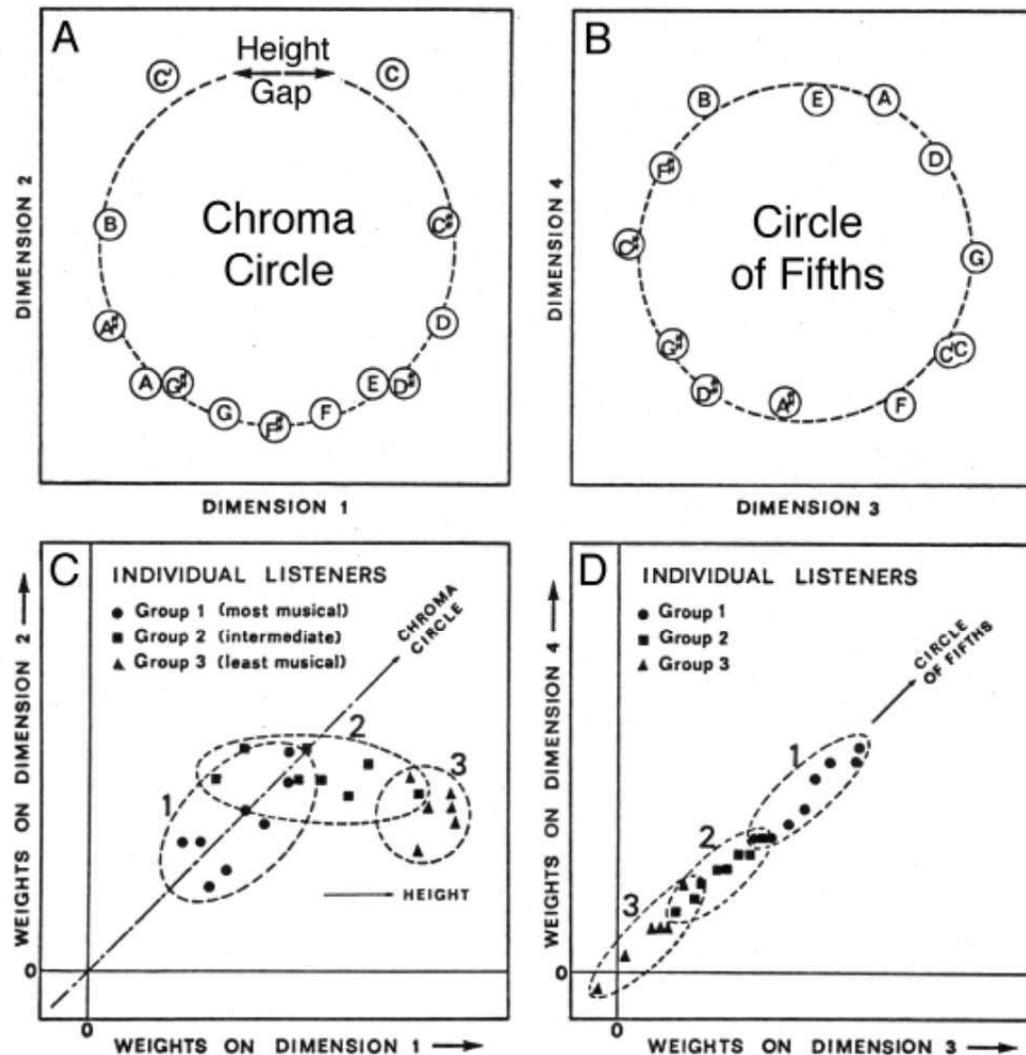


Figure 4. Four-dimensional scaling solution obtained by applying INDSCAL to the entire set of the probe-tone data of Krumhansl and Shepard (1979). The first two dimensions contain the chroma circle with a "height gap" (Panel A); the second two dimensions contain the circle of fifths (Panel B). The corresponding INDSCAL weight space (Panels C and D) confirms that the most musical listeners' rating profiles reflected a higher weighting of the circle of fifths over the chroma circle and height, the least musical listeners' rating profiles reflected a higher weighting of chroma and especially height over the circle of fifths, and the intermediately musical listeners' rating profiles reflected intermediate weightings.⁴

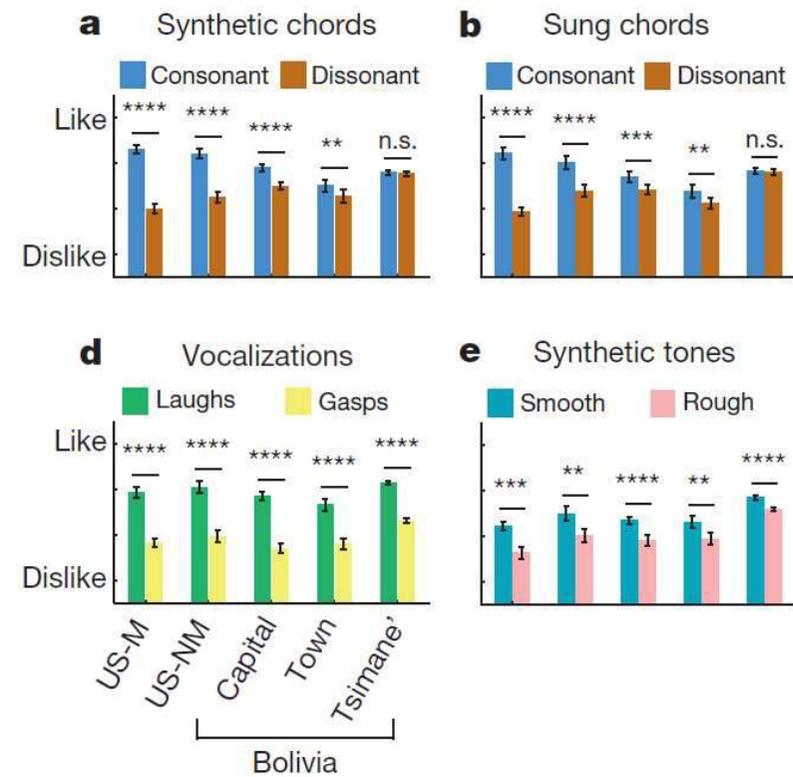
Shepard, R. N. (2009). One cognitive psychologist's quest for the structural grounds of music cognition. *Psychomusicology: Music, Mind and Brain*, 20(1-2), 130-157. <https://doi.org/10.1037/h0094217>

Le langage musical est-il universel?

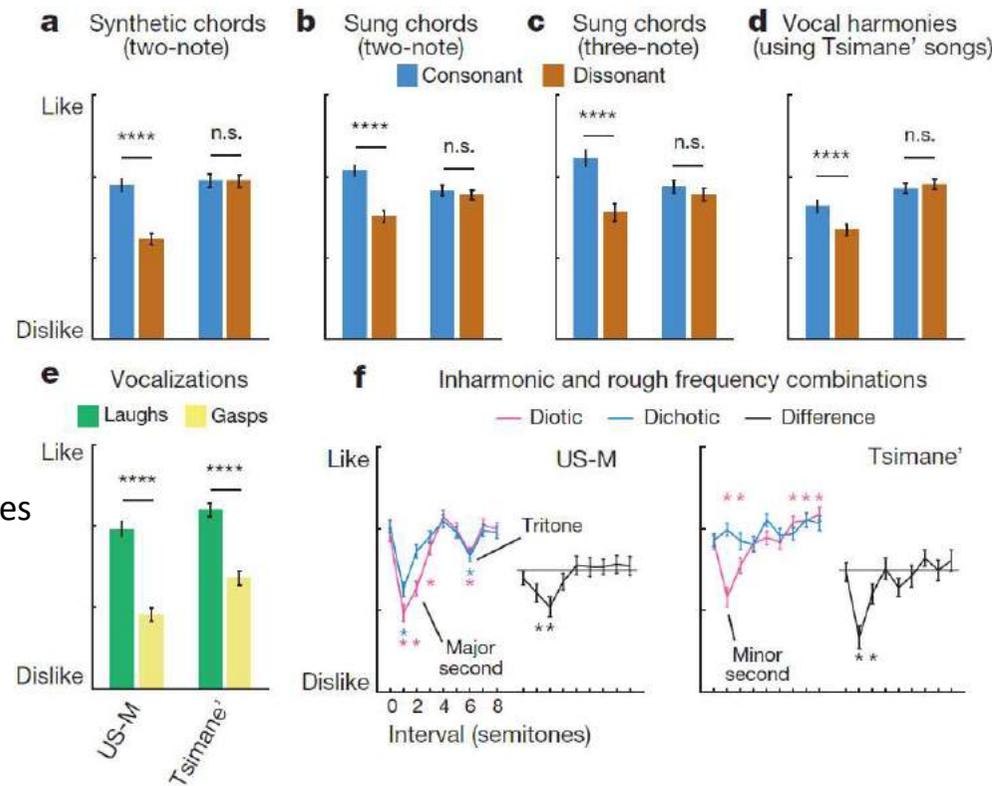
McDermott, J. H., Schultz, A. F., Undurraga, E. A., & Godoy, R. A. (2016). Indifference to dissonance in native Amazonians reveals cultural variation in music perception. *Nature*, 535(7613), 547–550. Commentaire: Zatorre, R. (2016). Human perception: Amazon music. *Nature*, 535(7613), 496–497.



La culture Tsimane serait dépourvue d'harmonie musicale, de polyphonie, ou de musique de groupe. Les jugements de préférence indiquent que, dans les villages isolés, les Tsimane n'éprouvent aucune préférence pour les sons consonants (accords joués ou chantés, sons et accords synthétiques, et même mélodies harmonisées à partir des chansons Tsimane).



Des expériences de contrôle montrent que les Tsimane jugent convenablement les rires ou la « rugosité », et qu'ils peuvent discriminer les sons harmoniques et inharmoniques.



La notion de contour mélodique

La perception d'une mélodie dépend en premier lieu de la configuration des hauteurs tonales qui peuvent « monter » ou « descendre ».

Les auditeurs ont tendance à confondre des mélodies qui ont le même contour.

The figure displays four musical staves, each containing a sequence of seven notes. Staff A (G major) has notes G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4. Staff B (B-flat major) has notes B3, C4, D4, E4, D4, C4, B3. Staff C (B-flat major) has notes B3, C4, D4, E4, D4, C4, B3. Staff D (D major) has notes D4, E4, F#4, G4, F#4, E4, D4. The contour of each sequence is: up, up, up, down, down, down.

Figure 2.3 Tone sequences B, C, and D have different relations to tone sequence A. (B = exact transposition, C = same contour but different intervals, D = different contour.)
After Dowling, Kwak, & Andrews, 1995. Cf. sound example 2.1a-d.

La syntaxe musicale

Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. The MIT Press.

En 1973, le compositeur Leonard Bernstein donne une série de conférences à Harvard (Charles Eliot Norton Lectures) et appelle les chercheurs à proposer une grammaire musicale comparable à la théorie de la « grammaire générative » de Chomsky.

En réponse, le compositeur musicologue Fred Lerdahl s'associe au linguiste Ray Jackendoff pour proposer *une théorie générative de la musique tonale* (GTTM, 1983).

La théorie postule l'existence de 4 structures, toutes hiérarchiques:

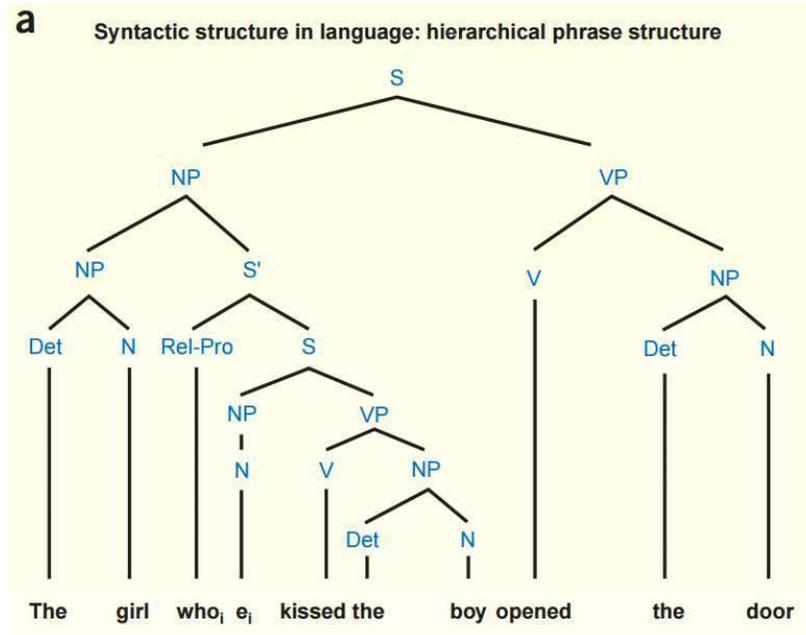
1. le groupement: motifs, phrases musicales, etc...
2. La structure métrique: la pulsation et ses multiples
3. La réduction de l'empan temporel (*time-span reduction* TSR), qui s'appuie sur les deux niveaux précédents pour former un arbre temporel avec plusieurs niveaux d'enchâssements.
4. la réduction prolongative (*prolongational reduction* PR) fondée sur l'augmentation ou la réduction de la tension tonale.

The image shows a musical score in treble clef with a key signature of one sharp (F#) and a 4/4 time signature. The melody consists of eighth and quarter notes. Handwritten annotations include dynamic markings: 'f' at the beginning, 'f' above the first measure, 'f' above the second measure, 'f' above the eighth measure, and 'tr' above the final measure. Below the staff, two levels of analysis are shown. The first level, labeled 'metrical analysis', consists of a series of dots representing the pulse, with a circled dot '(.)' under the first measure. The second level, labeled 'grouping analysis', consists of three horizontal lines with brackets underneath, indicating the hierarchical grouping of notes into phrases and larger structures.

La structure tonale hiérarchique de la musique occidentale

Lerdahl, F. (2001). *Tonal pitch space*. Oxford: Oxford University Press.

Langage et musique tonale seraient régis par des structures d'arbres binaires enchâssés.



Syntactic structure in music: hierarchical patterns of tension & relaxation

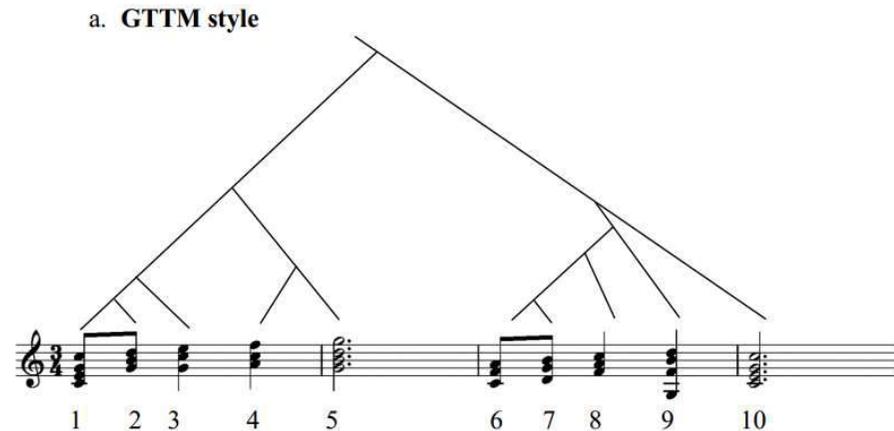


Dans le cas dans la musique, la fusion (merge) reflèterait la structure de tension et de relaxation tonale. Un branchement à droite indique une augmentation de la tension, et un branchement à gauche une diminution de la tension.

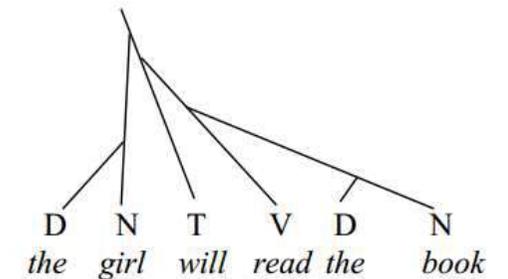
Une source de confusion: La différence de notation des arbres

Katz, J., & Pesetsky, D. (2011). The identity thesis for language and music. URL [Http://ling. Auf. net/lingBuzz/000959](http://ling.auf.net/lingbuzz/000959). Retrieved from <http://ling.auf.net/lingbuzz/000959/v1.pdf>

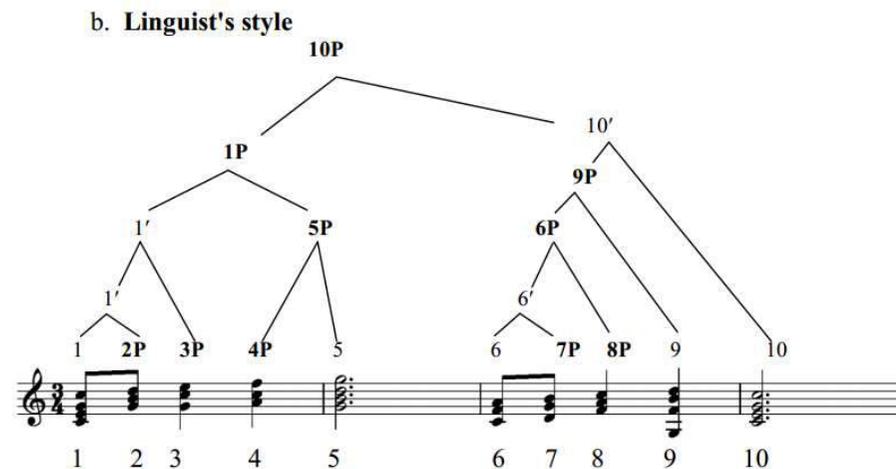
La représentation linguistique note explicitement les nœuds de l'arbre comme des « têtes » (heads) qui conservent l'identité de l'un des éléments lexicaux terminaux. Chaque nœud est donc la projection d'une tête qui définit la nature du syntagme correspondant (*verb phrase, noun phrase...*).



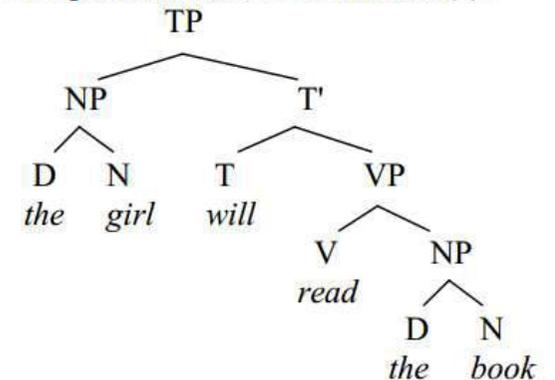
GTTM-style tree corresponding to (6)



La représentation de GTTM contient, en fait, la même information, mais elle est indiquée par la direction des traits qui forment l'arbre: le segment issu de la tête d'un syntagme continue en ligne droite, alors que le segment qui correspond au « complément » s'arrête.



Tree representation of derivation (5)



La réduction prolongative explique l'existence et la validité des *variations* en musique

En partant de la structure tonale d'un morceau, on peut obtenir toute une famille de morceaux apparentés (*variations*) qui partagent, à un niveau abstrait, la même structure de tension et de relaxation:

Il suffit d'élaguer les branches de l'arbre qui ne sont pas des têtes fonctionnelles.

Effacer les têtes conduit à une « mauvaise réduction » qui n'est pas considérée par les locuteurs comme une variation du morceau initial.

Suivant le même procédé, il est également possible de complexifier l'original: il suffit de faire en sorte que celui-ci soit une réduction du nouveau morceau:

(17) Toy melody and reductions

10P

1P 10'

1' 5P 9P 10

1 2P 3P 4P 5 6 7P 8P 9

a. *Deleting the non-heads of the lower 1' and of the lower 6'*

b. *Deleting the non-heads of the higher 1' and of 6P*

c. *Deleting the non-heads of 1P and 9P*

A bad reduction of (17)

« Réalité psychologique » de la notion de réduction

Bigand, Emmanuel. 1990. Abstraction of two forms of underlying structure in a tonal melody. *Psychology of Music*. 18:45

Emmanuel Bigand (1990) a testé si des sujets musiciens ou non-musiciens percevaient la relation de variation entre deux mélodies.

Il a comparé

- Des mélodies qui partagent une même réduction mais n'ont ni le même rythme, ni le même contour mélodique.
- Des mélodies avec des rythmes et des contours similaires, mais qui ne partagent pas de réduction.

Même les non-musiciens répondaient nettement au dessus du niveau du hasard.

Un exemple qui pose problème:
Mozart K. 331

La réduction de l'arbre au point
alpha conduit à une structure
incorrecte: les auditeurs
préfèrent nettement la version b
à la version a.

Que se passe-t'il? Il s'agit en fait
d'un conflit en PR et TSR.

Arbre PR

α

x y

low-level reduction:

(20)a. **Bad Reduction of Mozart K.331**

preserving y

b. **Good Reduction of Mozart K.331**

preserving x

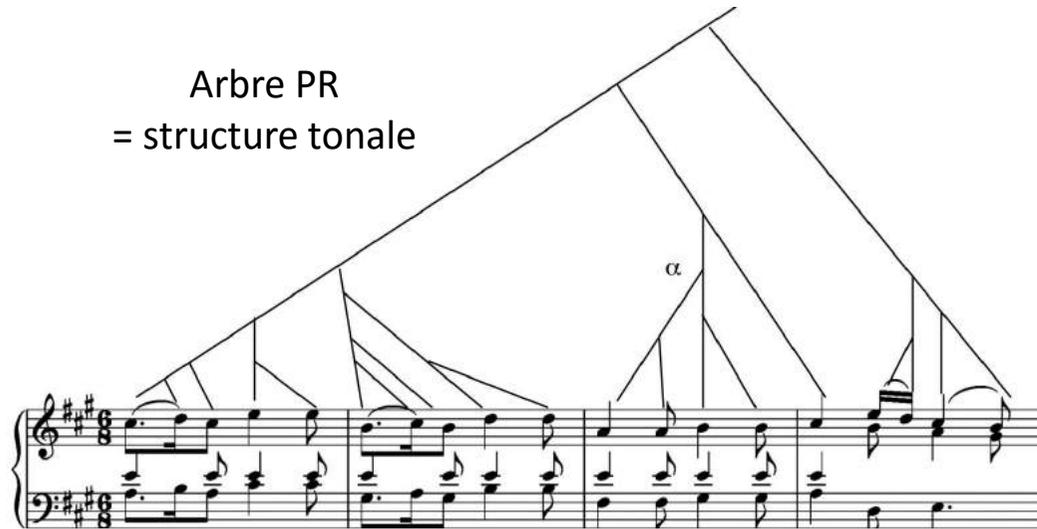
Par défaut, les structures PR et TSR (réduction prolongative et réduction de l'empan temporel) sont isomorphes, mais il peut arriver qu'elles divergent.

Ici, il semble effectivement y avoir un conflit entre PR et TSR.

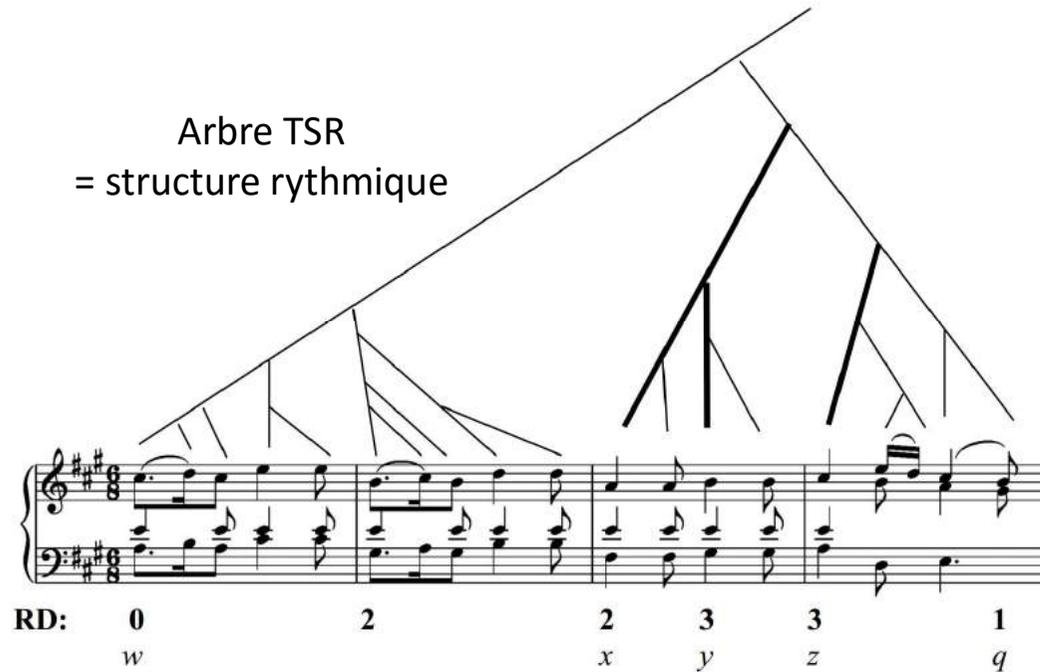
La réduction que préfèrent les sujets serait parfois fondée sur le rythme plutôt que sur la tonalité.

La résolution de conflits, suivant des règles de préférences, ressemble à la théorie de l'optimalité proposée par Paul Smolensky dans le domaine de la phonologie.

Arbre PR
= structure tonale

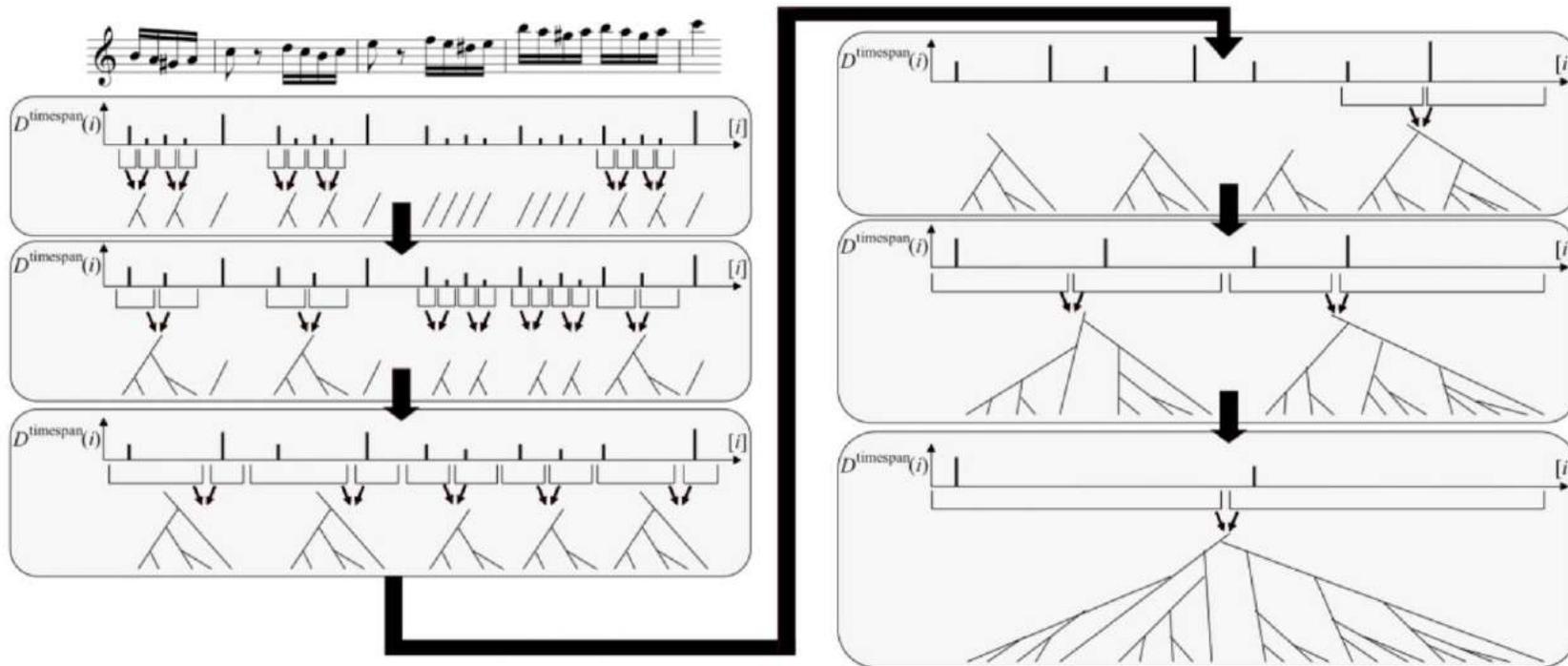


Arbre TSR
= structure rythmique



Critiques et travaux ultérieurs

Les règles de GTTM ne sont pas dépourvues d'ambiguïté, voire de conflits entre règles. Une intervention humaine subjective reste nécessaire – et le résultat n'est pas toujours convaincant. Masatoshi Hamanaka et al. (U Kyoto) ont transformé ces idées en un algorithme effectif. Voici un exemple d'application à la Marche Turque. Critique: la structure identifiée ne « voit » pas les répétitions de motifs, qui sont pourtant l'un des aspects les plus évidents de la musique de Mozart.



Hamanaka, M., Hirata, K., & Tojo, S. (2016). Implementing Methods for Analysing Music Based on Lerdahl and Jackendoff's Generative Theory of Tonal Music. In D. Meredith (Ed.), *Computational Music Analysis* (pp. 221–249). Springer

Exemple de résultat (Fugue de Pachelbel)

L'algorithme permet ensuite de simplifier automatiquement la mélodie, ou au contraire d'improviser en ajoutant des ornements.

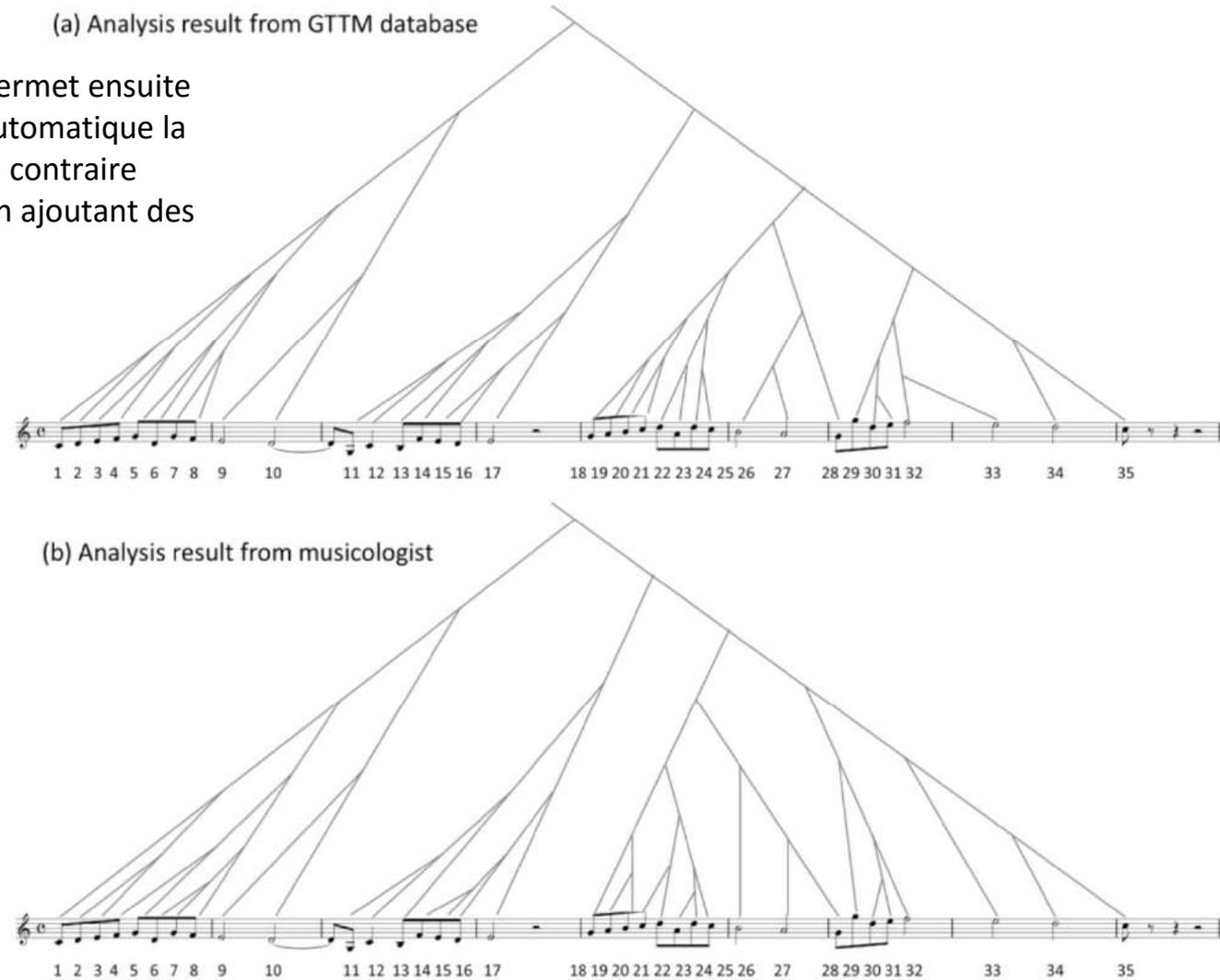
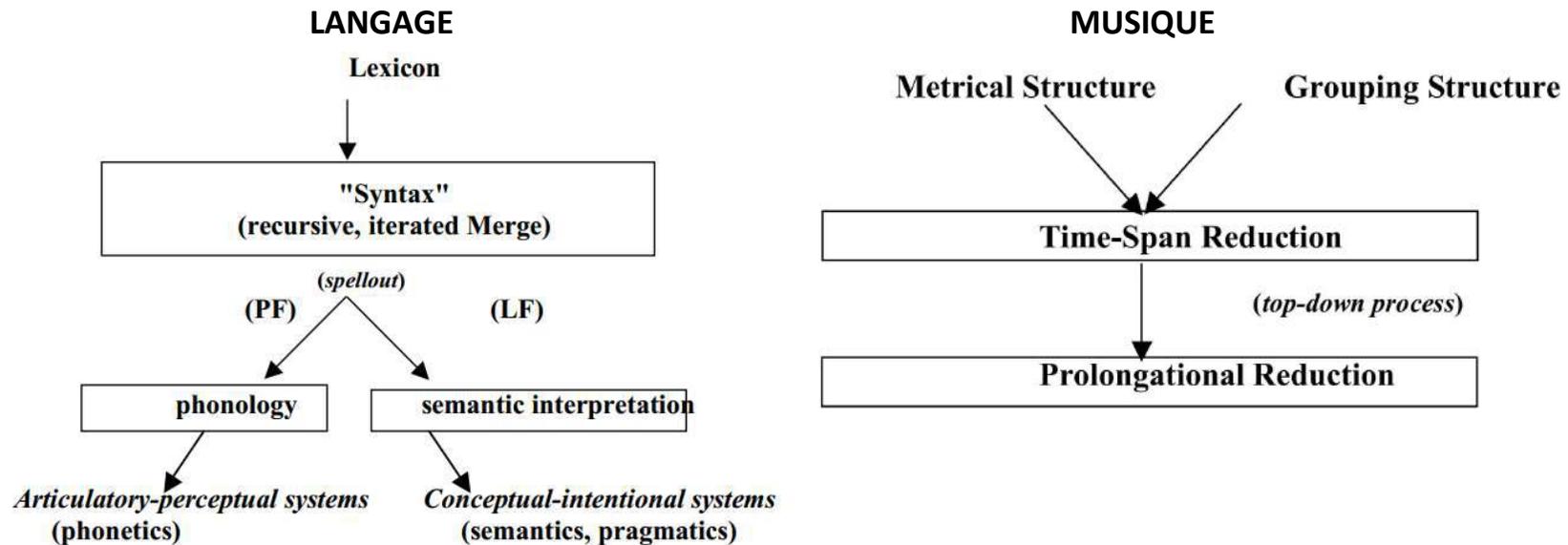


Fig. 9.19 Time-span trees of one part from a fugue in C major by Johann Pachelbel

Quelques parallèles entre structures musicales et linguistiques

Théorie de Leirdahl et Jackendoff, revue par Katz et Pestersky



Selon Katz et Pesetsky:

- La réduction prolongative (PR) correspond étroitement à la **syntaxe** : dans les deux cas, il s'agit de former des arbres binaires qui rendent compte des relations de dépendance entre une tête et ses compléments, même si ces éléments ne sont pas contigus dans la « phrase » de départ.
- La réduction de l'empan temporel (TSR) correspond étroitement à la **prosodie** du langage: quels « temps » ou quelles syllabes sont plus « proéminentes » que d'autres

Un test empirique de la similarité rythmique et mélodique entre langage et musique

Patel, A. D., and J. R. Daniele. 2003. "An Empirical Comparison of Rhythm in Language and Music." *Cognition* 87 (1): B35-45.

Patel, A. D., J. R. Iversen, and J. C. Rosenberg. 2006. "Comparing the Rhythm and Melody of Speech and Music: The Case of British English and French." *J Acoust Soc Am* 119 (5 Pt 1): 3034-47.

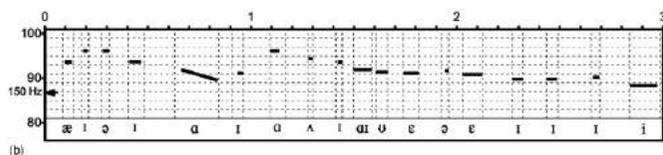
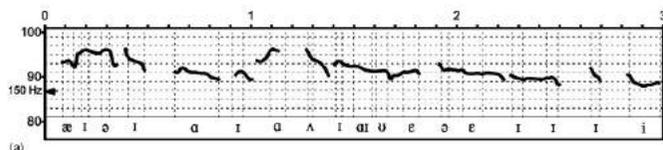
Les linguistes et les musicologues ont fréquemment postulé l'existence de parallèles entre la prosodie d'une langue et le rythme et la mélodie de sa musique (instrumentale et pas seulement vocale).

On distingue des langues « stress-timed » (ex. anglais, hollandais) et « syllable-timed » (français, espagnol) -- cette terminologie est imparfaite, car ces unités ne sont pas vraiment produites en parfaite isochronie, mais les différences d'organisation temporelle sont bien réelles (Ramus et al., 1999).

Rythme: L'indice de variabilité entre paires consécutives (nPVI, *normalized pairwise variability index*) mesure la variabilité de durée des voyelles consécutives, plus élevée en anglais qu'en français.

Mélodie: le prosogramme permet d'évaluer la taille des excursions de fréquence fondamentale.

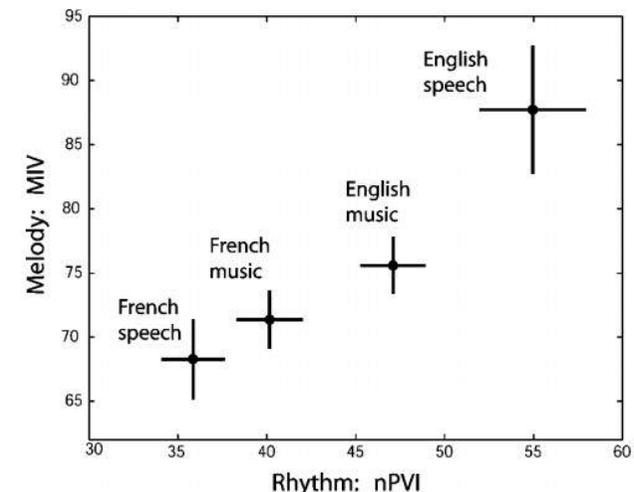
$$nPVI = \frac{100}{m-1} \times \sum_{k=1}^{m-1} \left| \frac{d_k - d_{k+1}}{d_k + d_{k+1}} \right|$$



Ces mesures ont été calculées pour une grande variété de phrases et de thèmes musicaux (compositeurs anglais et français nés au 19^{ème} et morts au 20^{ème}).

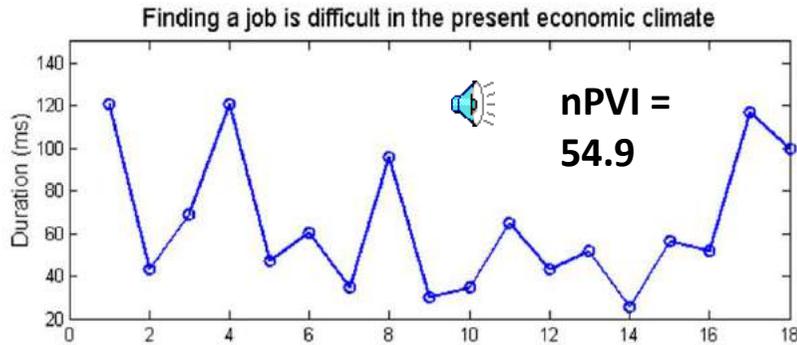
Résultats: les deux variables diffèrent de façon significative, et dans la même direction, entre la culture anglaise et la culture française.

Les compositeurs utiliseraient comme « ressource » consciente ou non-consciente, la mélodie de leur langue maternelle.

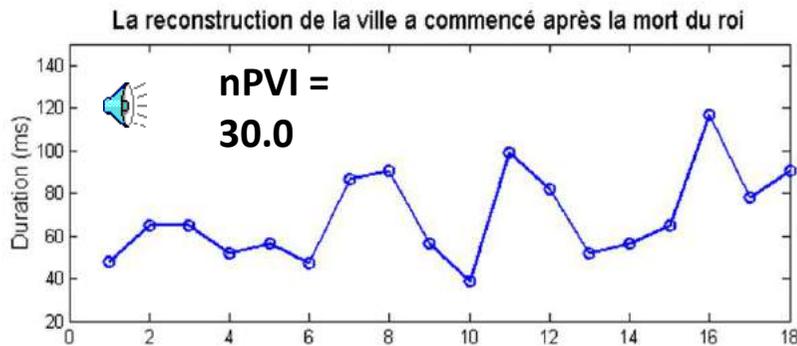


Exemples

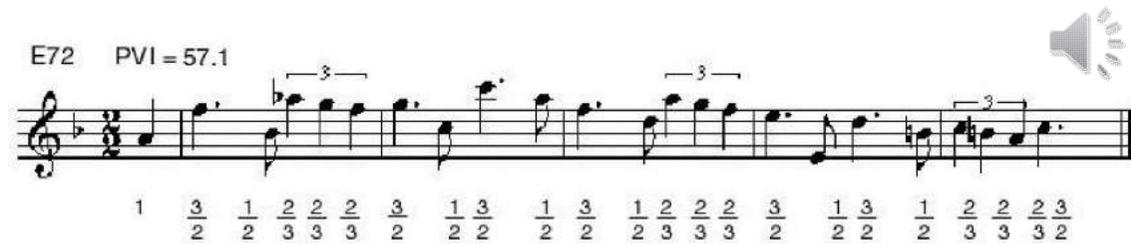
Anglais



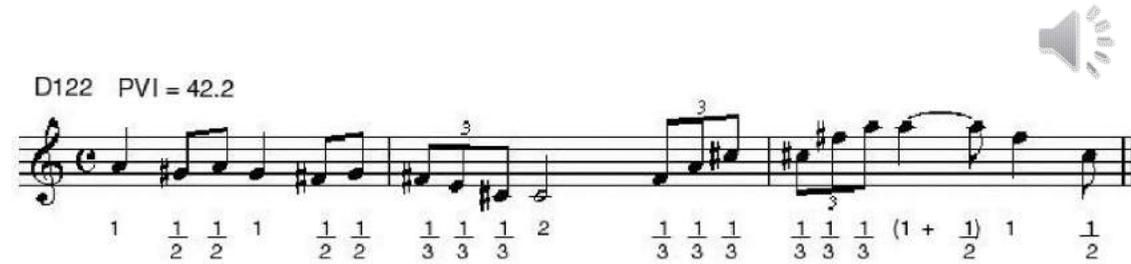
Français



E72: Elgar's *Symphony No. 1, in A Flat, Opus 55, 4th movement, 2nd theme*



D122: Debussy's *Quartet in G minor for Strings, 1st movement, 2nd theme*



Remerciements à Ani Patel

Quelles sont les relations entre structures musicales et linguistiques?

Retour à la thèse de l'identité langage-musique de Katz et Pesetsky

Katz, J., & Pesetsky, D. (2011). The identity thesis for language and music. URL [Http://ling. Auf. net/lingBuzz/000959](http://ling.auf.net/lingBuzz/000959). Retrieved from <http://ling.auf.net/lingbuzz/000959/v1.pdf>

Le mouvement syntaxique, propriété essentielle du langage, possède-t-il un analogue en musique?

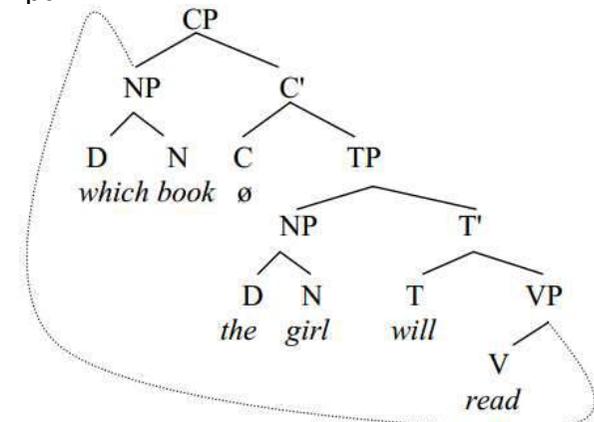
Wh: Le garçon se demande [quel livre la fille va lire _]

V-to-T: Jean critique beaucoup _ ce livre

Katz et Pesetsky listent les propriétés clés du mouvement dans le domaine du langage:

- La tête H qui a été déplacée doit être prononcée en un point **temporellement adjacent** (*string-adjacent*) à la tête d'un syntagme de niveau hiérarchiquement supérieur
- Ce couplage est étroit, et conduit souvent à une fusion morphologique (critique-ra).
- Le reste du syntagme HP continue de se comporter comme un constituant normal
- Le mouvement est obligatoire, il répond à une nécessité structurelle

Katz et Pesetsky suggèrent que la **cadence parfaite** obéit à ces règles: progression harmonique de la dominante à la tonique, indiquant « une certaine conclusion de chant, qui satisfait de façon que l'on n'a plus rien à désirer après » (Rameau).



Français	Anglais
<p>La fonction de temps verbal est portée par un nœud « T » (<i>tense</i>, autrefois appelé « I » = inflexion)</p>	
<p>Jean a souvent critiqué Pierre Jean critique souvent Pierre Jean (ne) critique pas Pierre Jean (n') a pas critiqué Pierre (Ne) pas critiquer Pierre</p>	<p>John has often criticized Peter John <u>often</u> criticizes Peter John <u>does not</u> criticize Peter John <u>did not</u> criticize Peter</p>

Exemple: premier prélude du clavier bien tempéré de J.S.

Bach

La mesure 25 contient un accord de septième de dominante, qui est analysé comme la tête d'une grande structure (de 20 à 32).

Il est interprété par L&J comme une « dominante structurelle », placée avant la tonique finale.

Cependant, Bach place un accord identique juste avant l'accord final, ce qui permet au morceau de se terminer par une cadence parfaite de deux accords adjacents.

a. original, with δ (bar 35) adjacent to final τ

b. rewritten without δ adjacent to final τ ⁴⁴

Si l'on omet cette cadence, le morceau « laisse à désirer » :

La reprise de la dominante serait comme un « mouvement » de la tête de la phrase musicale commandée par l'accord 25.

Différences avec le langage:

- L'accord est répété. Similaire au pronom résomptif utilisé dans certaines langues:

This is the girl who [**she***] said yes

This is the girl that I don't know what **she** said

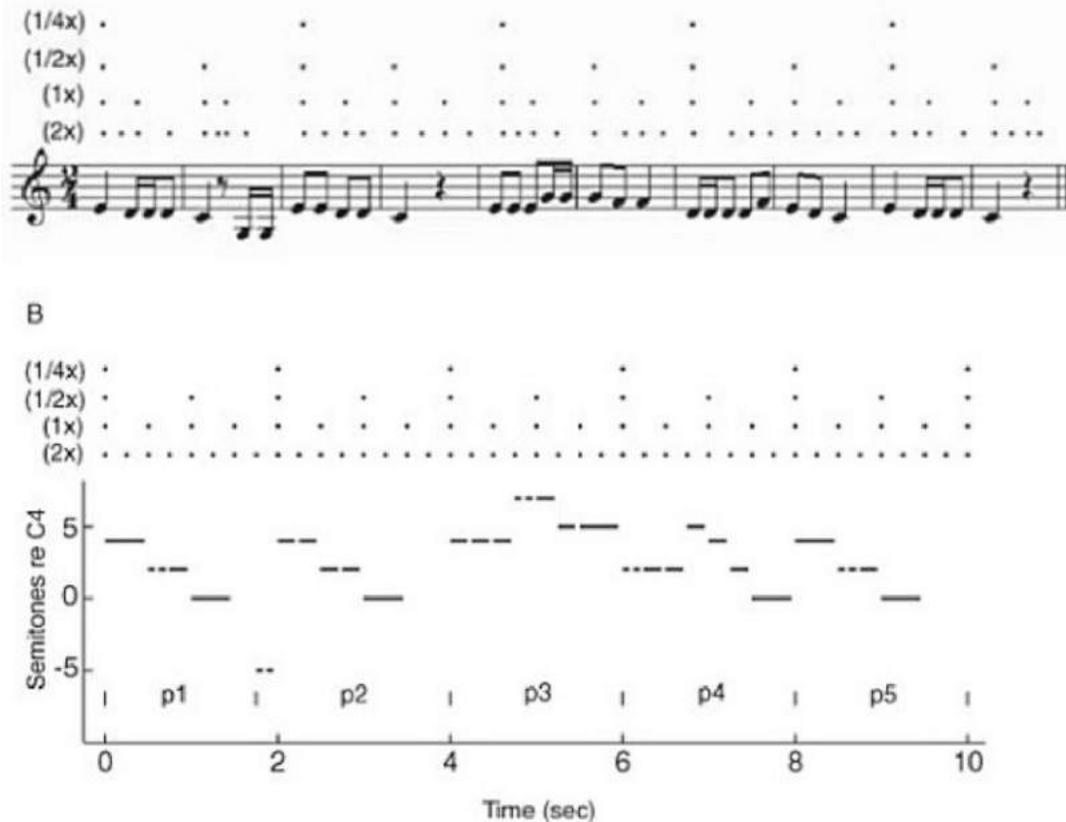
- En conséquence, l'hypothèse d'un mouvement ne change pas la structure de surface (*string-vacuous*).

L'hypothèse d'un mouvement paraît donc, en l'état actuel, spéculative

Quelles sont les données psychologiques à l'appui de ces structures?

1. L'organisation rythmique ou métrique

À l'écoute de musique (au moins la musique classique occidentale), le cerveau impose rapidement une structure métrique, avec une pulsation principale (*beat*, de période comprise entre 200 et 1200 ms) et une hiérarchie de multiples entiers (typiquement par 2, 3 ou 4).



Les humains sont capables de synchroniser leurs mouvements avec ces pulsations hiérarchiques – ce qu'aucune autre espèce d'animale ne semble faire (en l'absence de langage).

Le « tapping » reflète la hiérarchie de la structure métrique: il est plus précis sur les temps forts, au début de chaque mesure (Patel, Iversen et al. 2005).

Dans l'exécution de la musique, le degré d'allongement des notes est prédit par leur position sur une frontière plus ou moins haute dans la hiérarchie (Todd, 1985).

Il existe un parallèle avec le langage: l'allongement des syllabes est corrélée avec la présence de frontières prosodiques (Wightman, 1992).

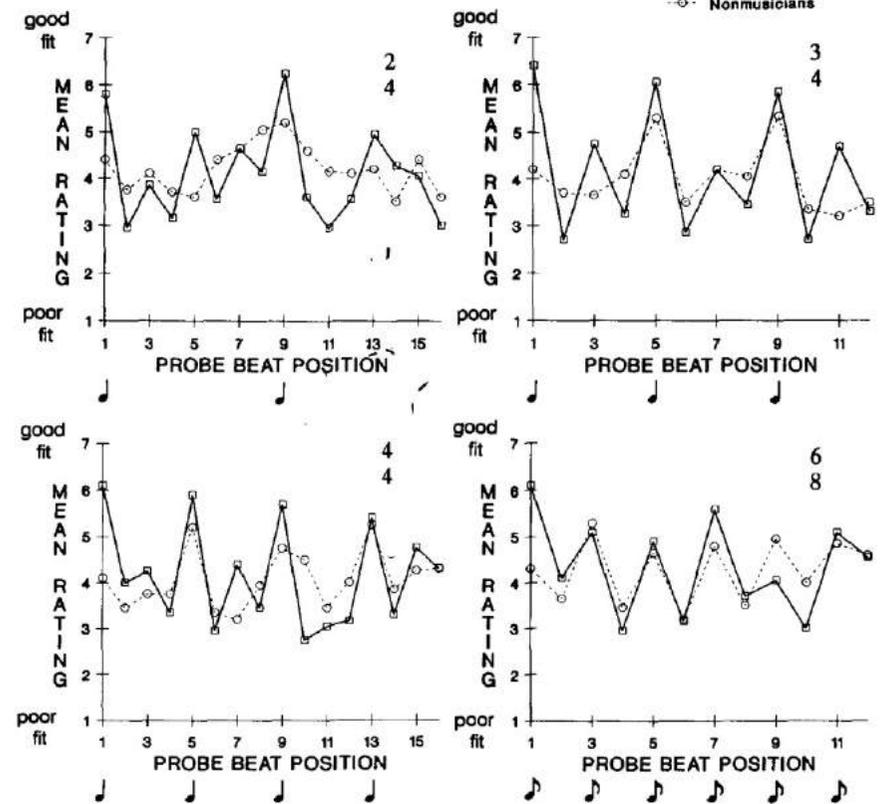
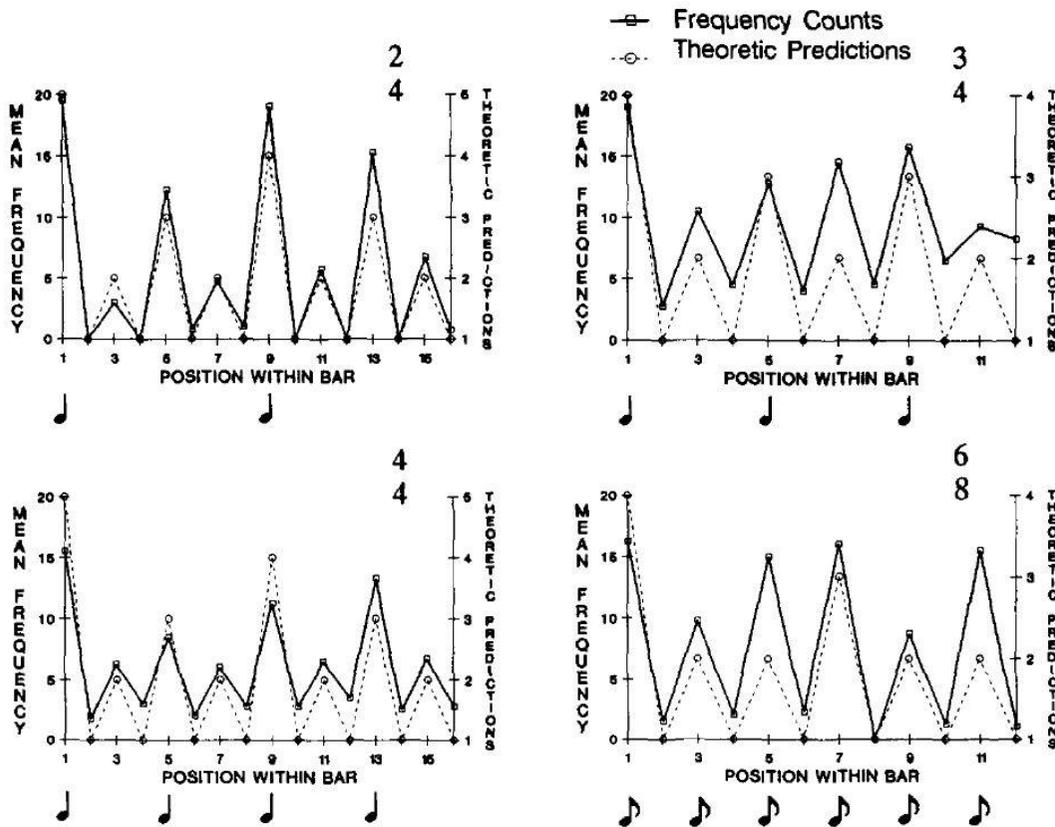
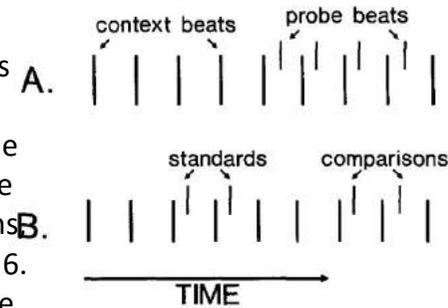
Les bébés de neuf mois sont déjà sensibles à la structure prosodique, ils réagissent moins à l'insertion de pauses lorsque celles-ci sont insérées aux frontières prosodiques (Jusczyk et al, 1992)

La « réalité psychologique » de la structure métrique

Palmer, C., & Krumhansl, C. L. (1990). Mental representations for musical meter. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(4), 728–741.

- Dans la musique classique occidentale, la fréquence avec laquelle chaque position au sein de la mesure est occupée par une note, reflète le mètre: 2/4, 3/4, 4/4 ou 6/8.
- L'adéquation subjective (*goodness-of-fit*) d'une série de 4 notes au sein d'une série de 9 notes dépend de leur position et du mètre qui est proposé, et suit une distribution très semblable.
- La mémoire de la position suit une distribution similaire

On demande aux sujets d'écouter des sons réguliers (*context beats*) et de les imaginer comme le premier de *N* sons avec *N* = 2, 3, 4, ou 6. Ensuite, il juge de l'adéquation de sons de test (*probe beats*)



2. La « réalité psychologique » de la structure tonale

Collins, Tom, Barbara Tillmann, Frederick S. Barrett, Charles Delbé, and Petr Janata. 2014. "A Combined Model of Sensory and Cognitive Representations Underlying Tonal Expectations in Music: From Audio Signals to Behavior." *Psychological Review* 121 (1): 33–65. doi:10.1037/a0034695.

Revue des expériences d'amorçage tonal (*tonal priming*): mesure des attentes implicites des auditeurs, fondée sur le temps de réaction à une note finale (par ex. dans un jugement de timbre), en fonction de sa relation harmonique avec le contexte précédent.

Collins et al. visent à déterminer si cette mesure est principalement déterminée par des représentations perceptives ou abstraites.

♩ = 120

Context Target

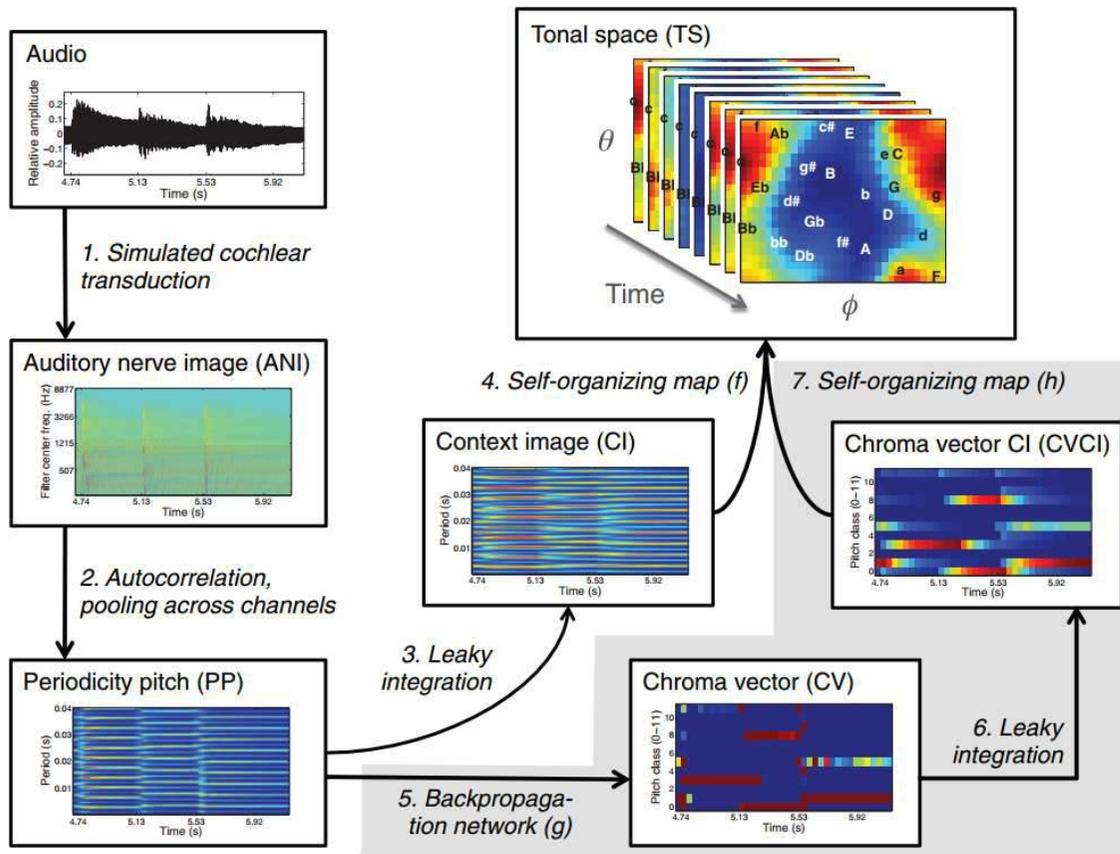
C: V I IV V I ii⁷ V B: I

Study	Experimental manipulation
Tillmann, Janata, & Bharucha (2003)	Chord sequences ending on tonic or out-of-key chord
Bigand, Poulin, Tillmann, Madurell, & D'Adamo (2003, Experiment 1)	Chord sequences ending on tonic (I) or subdominant (IV)
Marmel, Tillmann, & Dowling (2008, Experiment 2)	Melodies ending on tonic (I) or subdominant (IV)
Marmel & Tillmann (2009, Experiment 2)	Melodies ending on mediant (III) or leading tone (VII)
Marmel, Tillmann, & Delbé (2010, Experiments 1–2)	Pure tone or piano timbre melodies ending on tonic (I) or subdominant (IV)
Tillmann, Janata, Birk, & Bharucha (2003, Experiment 2)	Key-inducing and noninducing chord sequences ending, when key inducing, on tonic (I) or subdominant (IV)
Tillmann, Janata, Birk, & Bharucha (2008, Experiment 3)	As immediately above, but with inclusion of additional dominant (V) condition

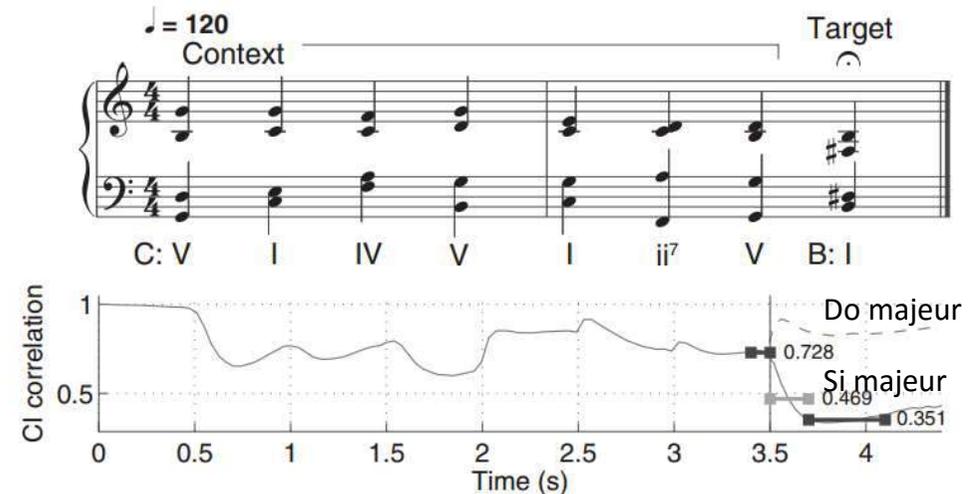
La « réalité psychologique » de la structure tonale

Collins, Tom, Barbara Tillmann, Frederick S. Barrett, Charles Delbé, and Petr Janata. 2014. "A Combined Model of Sensory and Cognitive Representations Underlying Tonal Expectations in Music: From Audio Signals to Behavior." *Psychological Review* 121 (1): 33–65. doi:10.1037/a0034695.

Extraction, par algorithme, du déroulement temporel des représentations de la périodicité de hauteur tonale, des vecteurs chromatiques, et de l'espace tonal.



La corrélation entre les vecteurs évoqués par la dernière note et par le contexte récent sert de prédicteur de son adéquation (*goodness-of-fit*).

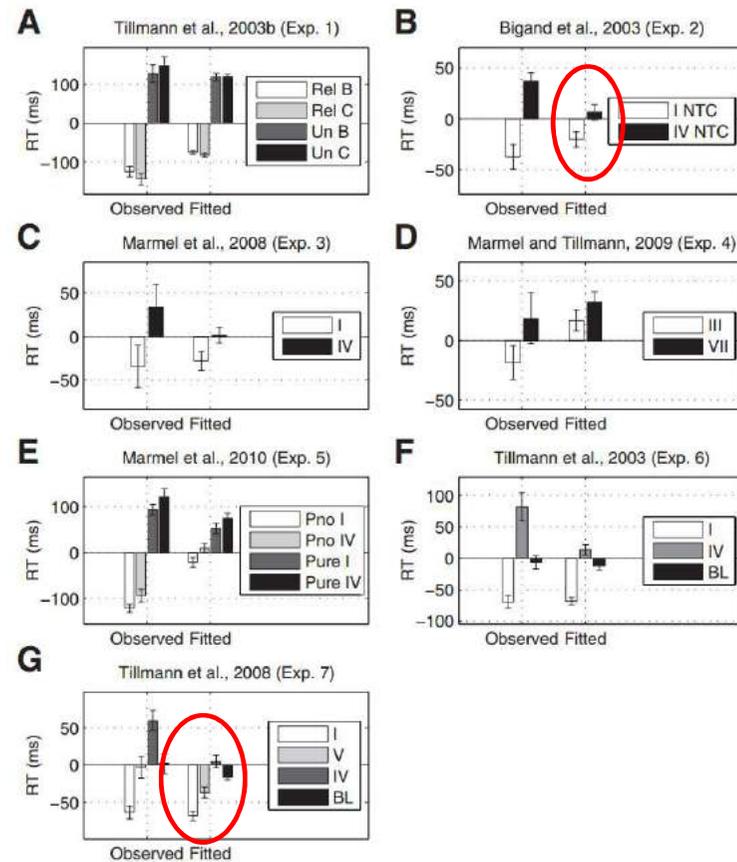
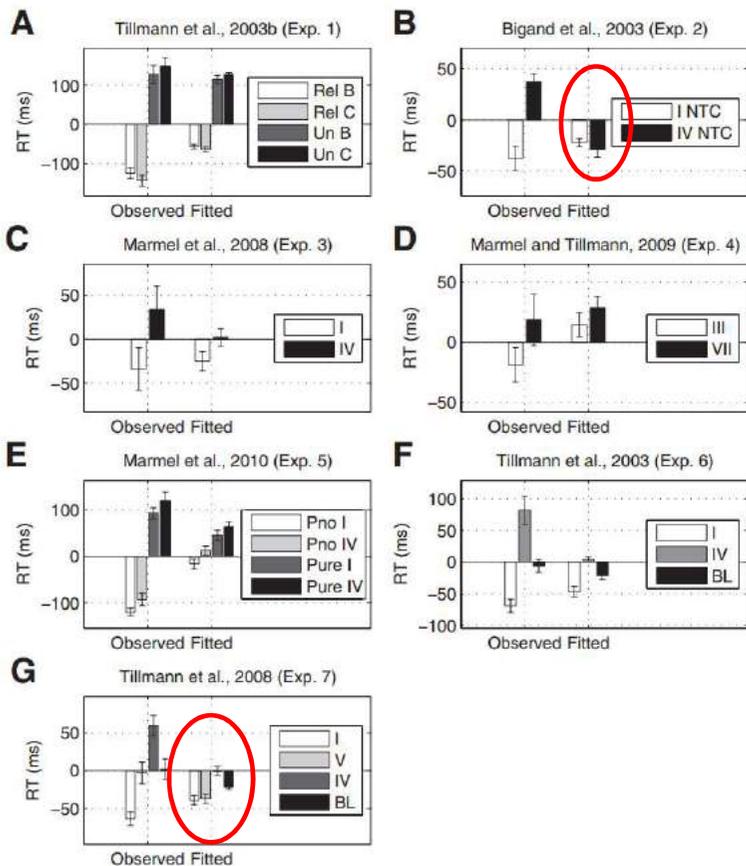


La « réalité psychologique » de la structure tonale

Collins, Tom, Barbara Tillmann, Frederick S. Barrett, Charles Delbé, and Petr Janata. 2014. "A Combined Model of Sensory and Cognitive Representations Underlying Tonal Expectations in Music: From Audio Signals to Behavior." *Psychological Review* 121 (1): 33–65. doi:10.1037/a0034695.

Ce modèle, purement perceptif (sans syntaxe) rend compte d'une bonne part des expériences.

Toutefois, une meilleure adéquation aux résultats expérimentaux est obtenue en ajoutant au modèle une notion syntaxique : la cloture de la phrase musicale.



Conclusions

La musique classique occidentale obéit à un ensemble très complexe de régularités enchâssées:

- Passage de la fréquence de sons à la **hauteur tonale** des **notes**
- Organisation de ces notes en **gammes** et en **accords**, avec des relations de proximité dans un espace à 5 dimensions
- Organisation de ces notes en **mélodies** avec au moins deux niveaux de structure, tous deux organisés sous formes d'arbres enchâssés, et pourvus de parallèles plus au moins convaincants avec les structures linguistiques.
 - Structure **rythmique** (« prosodie »)
 - Structure **harmonique** (« syntaxe »)
 - Et sans doute d'autres niveaux encore mal modélisés (répétition de contours mélodiques, parallélisme et transpositions, etc)

Il existe donc bien une **grammaire musicale multi-niveaux**, appris implicitement (au moins en partie), et même les non-musiciens y sont sensibles.

La semaine prochaine: les règles musicales font-elles appel aux mêmes aires cérébrales que les règles linguistiques?