HAL
open science

Vers une analyse automatique des formes sonates

Laurent David, Mathieu Giraud, Richard Groult, Florence Levé, Corentin Louboutin

To cite this version:

Laurent David, Mathieu Giraud, Richard Groult, Florence Levé, Corentin Louboutin. Vers une analyse automatique des formes sonates. Journées d'Informatique Musicale (JIM 2014), 2014, Bourges, France. pp.113-118. hal-01009166

HAL Id: hal-01009166

https://hal.science/hal-01009166v1

Submitted on 18 May 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.

VERS UNE ANALYSE AUTOMATIQUE DES FORMES SONATES

Laurent David [1,3] *Mathieu Giraud* [1] *Richard Groult* [2] *Florence Levé* [1,2] *Corentin Louboutin* [1,4]

[1] LIFL (UMR 8022 CNRS, Universités Lille 1 et Lille 3)
[2] MIS (Université de Picardie Jules Verne, Amiens)
[3] ENSEA (Cergy-Pontoise)
[4] ENS Rennes

{laurent, mathieu, richard, florence, corentin}@algomus.fr

RÉSUMÉ

La forme sonate, bien que ce nom lui ait été donné a posteriori, était très prisée de la période classique jusqu'à la fin de la période romantique. Une pièce de cette forme est composée de trois parties complémentaires, une exposition, un développement et une réexposition. Nous défendons l'idée que l'étude des formes sonates est un défi intéressant pour la musicologie computationnelle. Nous proposons aussi quelques premières expériences sur l'analyse informatique de ce type de partitions. Sur un corpus de premiers mouvements de quatuor à cordes, nous arrivons à localiser approximativement le couple exposition/réexposition dans la majorité des cas.

1. FORMES SONATES

Nous présentons ici la forme sonate, ses modélisations musicologiques, et défendons l'idée qu'elle est un objet de choix pour l'informatique musicale symbolique.

1.1. La forme sonate

La forme sonate est une forme musicale classique développée à partir de la fin du XVIIIe siècle jusqu'à la fin du XIXe siècle. Provenant initialement d'une forme binaire qui a été étendue, cette forme comporte trois parties jouant des rôles musicaux complémentaires (figure 1) :

- *L'exposition* a un rôle à la fois rhétorique (mélodique) et harmonique, permettant à la fois d'exposer les thèmes (deux en général, principal et secondaire) qui seront utilisés dans les autres parties et d'affirmer la tonalité principale de la pièce. En général, le *thème principal* (P) est exposé à la tonique (**I**) puis, après une transition et une césure médiane (*medial caesura*, MC), le *thème secondaire* (S) est exposé dans une autre tonalité, généralement au ton de la dominante (**V**) pour les formes sonates en mode majeur.
- *Le développement* réutilise les thèmes présentés dans l'exposition tout en créant une tension tonale. Présentant de nombreuses modulations, c'est une zone tonalement instable.
- Enfin, *la réexposition* (*recapitulation* en anglais) présente à nouveau les thèmes principaux. Cette fois-ci, le deuxième thème est joué à la tonique, ce qui permet une affirmation de la tonalité principale de la pièce.

La figure 2 montre un exemple d'une forme sonate très simple, dans une sonatine pour piano de Kuhlau.

Plusieurs marqueurs se trouvent entre les différentes parties, en particulier des cadences (fins de phrases musicales). Le thème principal présenté dans l'exposition est souvent suivi d'une transition se terminant par une *demi-cadence* (*half cadence*, HC). Le thème secondaire se termine généralement par une *cadence parfaite* (*Perfect Authentic Cadence*, PAC), qui conclut musicalement l'exposition. Enfin, l'exposition se termine par une *conclusion* (qui ne présente généralement pas de nouvel élément thématique). Les cadences et la conclusion, parfois transformées, se retrouvent dans la réexposition.

Il y a beaucoup de variations possibles sur cette structure, selon l'époque et les compositeurs. Haydn utilise par exemple beaucoup de formes sonates mono-thématiques, comme dans l'op. 33 n° 2. En fait, la forme sonate ne se caractérise pas dans la succession des sections, mais plus dans un *équilibre à grand échelle* : les tensions tonales (autre tonalité) et rhétoriques (thème S, texture) créées lors de l'exposition et étendues dans le développement finissent par se résoudre dans la réexposition.

1.2. Approches musicologiques de la forme sonate

Certains des principes de composition de la forme sonate avaient été théorisés dès la fin du XVIIIe siècle [15, 23]. Cependant, le terme « forme sonate » a été utilisé pour la première fois dans les années 1830 par A. B. Marx dans une série d'articles dans le *Berliner allgemeine musikalische Zeitung*. La forme a été ensuite théorisée plus en

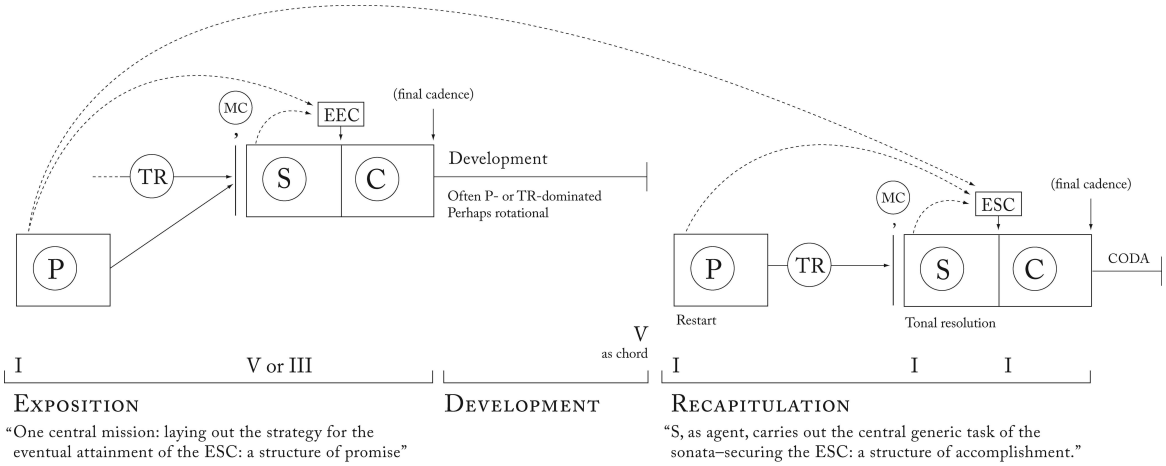

Figure 1. Structure d'ensemble d'une forme sonate, schéma et notations tirés du livre de Hepokoski et Darcy [12, page 17]. La forme sonate est construite sur un thème (ou une zone thématique) principal (P), un thème secondaire (S) et une conclusion (C). Entre les deux thèmes, la transition (TR) se termine par la césure médiane (*medial caesura*) (MC). À la fin du thème secondaire se trouve une cadence parfaite, dénommée EEC (*Essential Expositional Closure*) dans l'exposition et ESC (*Essential Structural Closure*) dans la réexposition (*recapitulation*).

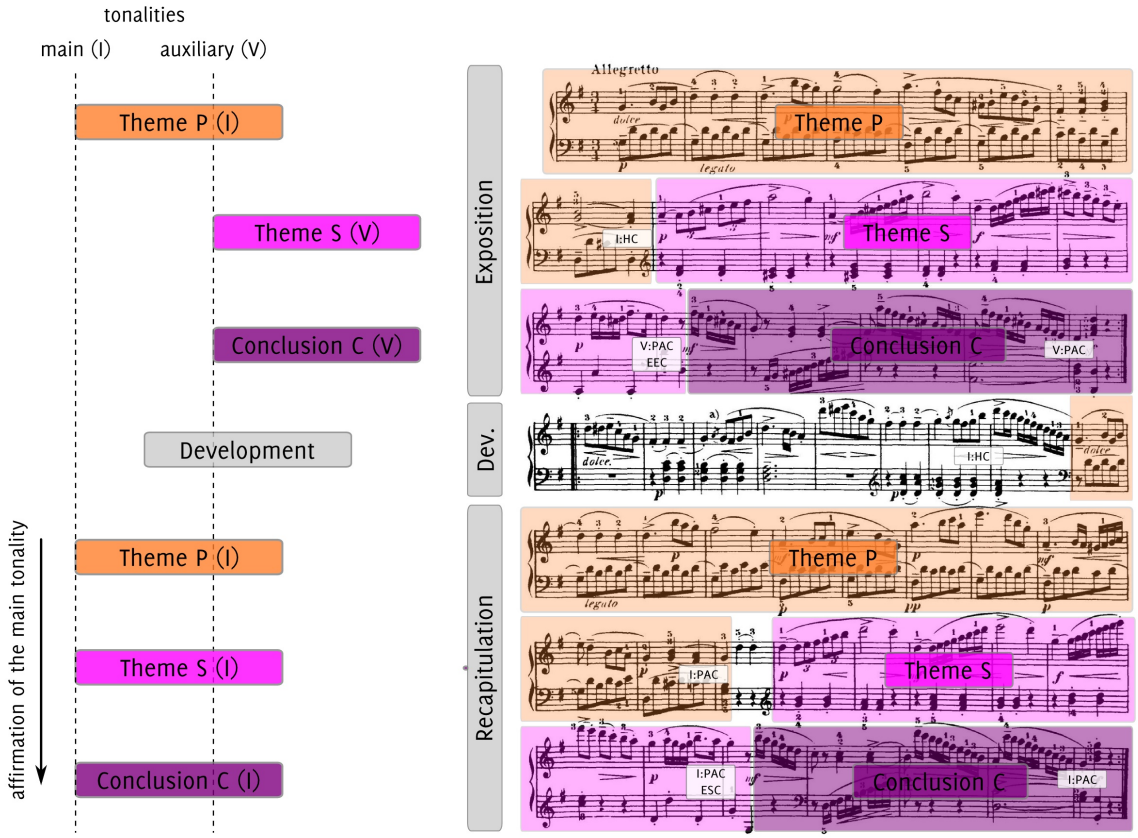

Figure 2. Analyse structurelle de l'Allegretto de la sonatine Op. 55, no. 2 de Kuhlau, pour piano, en utilisant les conventions de [12]. Les cadences (fin de phrases) sont indiquées par les termes HC (*Half Cadence*, demi-cadence) et PAC (*Perfect Authentic Cadence*, cadence parfaite), précédés de la tonalité de cette cadence (ici **I** et **V**). Les termes EEC et ESC désignent les fins de sections (voir figure 1). Cette sonatine est très simple, avec un développement très court (Dev.), et pratiquement aucune transition entre les zones thématiques P et S. Le groupe thématique P dure 8 mesures lors de l'exposition et 11 lors de la réexposition, ce qui renforce la stabilisation de la tonique dans la réexposition. Le thème S et la conclusion C sont exactement transposés entre l'exposition et la réexposition.

détail, notamment par Marx [17] et Czerny [4].

Plus récemment, de nouvelles théories systématiques sur les formes sonates ont été proposées [2, 3, 16, 18, 22, 24]. Le travail d'Hepokoski et al. [10, 11], culminant dans le livre [12], est aujourd'hui une bonne référence. Enfin, on trouve certaines analyses en profondeur de corpus spécifiques : pour les oeuvres Beethoven on se référera à [9, 21] pour les quatuors à cordes et à l'ouvrage de D. Tovey [25] pour les sonates pour piano.

Comme toute analyse humaine, l'analyse des formes sonates n'obéit pas à un ensemble de règles figées, mais dépend de choix analytiques subjectifs qui ne font pas toujours consensus. De plus, certaines pièces portent des ambiguïtés structurelles. En particulier, il est souvent délicat de déterminer précisément la fin du premier thème de la transition, surtout lorsque plusieurs motifs transitionnels ou thématiques se répètent dans l'exposition et la réexposition comme dans le quatuor K. 155 n° 2 de Mozart. Enfin, de telles analyses peuvent sembler anachroniques, la forme sonate n'existant pas en tant que telle pour les compositeurs de l'époque. Ces analyses peuvent tout de même être pertinentes en éclairant quelques principes compositionnels avec un certain recul vis-à-vis du répertoire.

1.3. Analyser informatiquement la forme sonate ?

La communuauté MIR (Music Information Retrieval) s'intéresse à l'analyse musicale dans son ensemble, à partir de données audio ou symboliques. Bien que l'analyse structurelle soit au cœur de ces thématiques, à ce jour, peu de travaux en MIR se concentrent sur les formes sonates. Même si les formes sonates servent de support à l'extraction de motifs (voir par exemple [20]), leur analyse à grande échelle est peu abordée. Dans un article récent, Jiang et Müller effectuent des comparaisons de signaux audio pour retrouver le couple exposition/réexposition sur les premiers mouvements dans 28 sonates pour piano de Beethoven [14]. Ils proposent aussi de suivre les changements harmoniques à l'intérieur des différentes parties.

La donnée symbolique de la partition devrait permettre d'être bien plus précis dans l'analyse. Nous pensons que l'analyse des formes sonates est un défi intéressant pour la recherche en informatique musicale symbolique, demandant de combiner des aspects locaux (motif et thèmes, cadences...) avec des aspects globaux (plan tonal, structure d'ensemble).

Le premier défi est dans la *détection de la structure générale* : couple exposition/réexposition, avec des marqueurs précis lorsqu'ils existent, formant la structure tonale à grande échelle.

Le second est de retrouver la *structure tonale et motivique du développement*. Le développement montrant souvent une grande instabilité des tonalités, il serait intéressant de pouvoir décrire de manière cohérente ce parcours tonal. Il serait également intéressant de trouver quels éléments thématiques de l'exposition sont utilisés et sous quelle forme ils sont repris, la difficulté étant qu'il peut s'agir de très courts motifs mélodiques ou rythmiques ou qu'ils peuvent présenter des variations conséquentes.

Toute approche automatisée doit être conçue en gardant à l'esprit les limites que nous avons évoquées sur la subjectivité de toute analyse – cependant, certains points simples d'analyse peuvent faire consensus et permettre d'évaluer les algorithmes.

2. PISTES POUR UNE ANALYSE INFORMATIQUE

Nous décrivons ici quelques expériences sur l'analyse informatique de formes sonates, en partant de partitions sous forme de données symboliques. Nous partons de fichiers `.krn` [13], qui encodent les partitions plus précisément que des fichiers `.midi` (avec notamment les informations d'enharmoniques), mais nous nous limitons dans cette étude aux informations de hauteur et de durée. Est-il possible de retrouver avec ces informations la structure exposition/réexposition et d'étudier le développement ?

Pour ces expériences, nous nous sommes limités à des quatuors à cordes, ce qui facilite l'analyse étant donné que les pièces sont séparées en quatre voix (premier et deuxième violon, alto, violoncelle). Nous avons ainsi rassemblé 11 premiers mouvements de quatuors de Mozart, Haydn et Schubert (figure 4).

Afin d'évaluer nos algorithmes, nous avons manuellement identifié pour chacun de ces mouvements le couple exposition/réexposition, en nous appuyant sur les analyses de Hepokoski et Darcy [12] ainsi que sur notre propre analyse.

2.1. Détection du couple Exposition/Réexposition

La figure 3 montre une analyse obtenue sur le quatuor K. 157 n° 4 de Mozart avec les opérations suivantes :

- recherche de cadences parfaites (**V** vers **I** en position fondamentale, avec arrivée sur la tonique à la voix supérieure) [5] ;
- recherche de fins potentielles de phrases par une simple détection rythmique (notes plus longues que leur entourage ou suivies de silences) ;
- recherche des zones P/S, par un algorithme de Mongeau-Sankoff qui calcule, par programmation dynamique, les similarités entre deux mélodies en minimisant une distance d'édition [19]. Nous utilisons une fonction de score qui favorise les similarités diatoniques [7]. Cette recherche concerne uniquement la voix supérieure (premier violon).

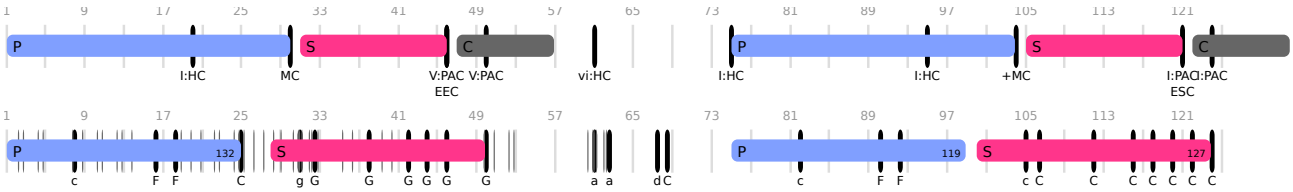

Figure 3. Recherche du couple exposition/réexposition dans le premier mouvement du quatuor à cordes K. 157 nº 4 de W. A. Mozart comprenant 126 mesures. Le schéma du haut montre une analyse possible (faite par nos soins) avec cadences et marqueurs structurels en utilisant les notations de [12] (voir figure 2). Le schéma du bas représente ce qui est trouvé par le programme. Les traits fins verticaux dans l'exposition montrent des fins de phrases potentielles, et les traits gras des cadences potentielles (majuscule : majeur, minuscule : mineur). Le couple exposition/réexposition est retrouvé, mais la zone S prédite est détectée en amont de la zone réelle S, la fin de la transition entre P et S étant déjà transposée à la dominante dans l'exposition. De plus, la zone S prédite s'étend aussi sur la conclusion C.

	ℓ	Analyses	P	S
Haydn op. 33 nº 2	90m 4/4		+	
Haydn op. 33 nº 3	167m 4/4		=	+8
Haydn op. 33 nº 5	305m 2/4		+	+3
Haydn op. 54 nº 3	189m 2/2		=	+13
Haydn op. 64 nº 4	99m 4/4		−	
Mozart K. 80 nº 1	68m 3/4		−	+4
Mozart K. 155 nº 2	119m 4/4		+	+3
Mozart K. 156 nº 3	184m 3/8		+	0
Mozart K. 157 nº 4	126m 4/4		+	−2
Mozart K. 387 nº 14	170m 4/4		=	−6
Schubert op. 125 nº 1	255m 2/2		+	−23

Figure 4. Recherche du couple exposition/réexposition sur 11 premiers mouvements de quatuors à cordes en forme sonate. Pour chaque pièce, la colonne « ℓ » indique la longueur en mesures ainsi que le mètre. La colonne « Analyses » indique, en haut, quelques éléments de notre analyse manuelle pour l'exposition comme pour la réexposition (P : zones thématique principale, éventuellement suivie d'une transition, S : zone thématique secondaire, C : conclusion, O : coda), et, en bas, l'analyse effectuée informatiquement. La colonne « P » indique si le thème est trouvé exactement (+), avec quelques mesures de décalage dues à la présence d'une introduction (=) ou mal ou non trouvé (−). Lorsque le second thème est trouvé, la colonne « S » indique le décalage, en mesures, entre cette prédiction et le « vrai » second thème. Notons que le quatuor op. 33 nº 2 de Haydn est monothématique, les deux zones P et S étant construites sur le même matériau mélodique. De plus, dans les quatuors op. 54 et 64 de Haydn, il n'y a pas de réexposition pour S.

La zone P est recherchée du départ à une fin de phrase, sans transposition. La zone S est recherchée également après la zone P, sous la contrainte d'une transposition de la dominante vers la tonique (**V** vers **I**). Dans ce mouvement du quatuor K. 157, on voit que la stratégie met en évidence le couple exposition/réexposition.

La figure 4 montre les résultats sur les 11 pièces. Le début de P, marquant le début du couple exposition/réexposition, est retrouvé 9 fois à la position correcte, dont 7 fois de manière unique. Dans 8 de ces 9 cas, une deuxième zone (S) est identifiée avec une transposition de **V** vers **I**, dans la plupart des cas à moins de 10 mesures du début réel du thème S :

- la fin de la transition entre P et S peut être identique (mais transposée) entre l'exposition et la réexposition (prédiction de S avant le S réel) ;
- le thème S peut être transformé ou repris à une autre voix (prédiction de S après le S réel).

Certains thèmes ne sont pas identifiés ou détectés à des positions incorrectes (2 thèmes P et 3 thèmes S). Par exemple, dans le quatuor K. 80, on ne trouve pas le thème P car seule la fin est reprise dans la réexposition. Dans le quatuor K. 387, le thème S est joué par le *deuxième* violon, ce qui empêche sa détection correcte.

2.2. Vers une analyse du développement

La figure 5 montre quelques pistes d'analyse du développement dans le premier mouvement du quatuor op. 33 n° 5 de Haydn, sur le plan tonal ou pour la recherche d'éléments thématiques présents dans l'exposition :

- détection de cadences parfaites ;
- recherche d'éléments thématiques des thèmes P et S (relevés manuellement), de nouveau avec un algorithme de Mongeau-Sankoff adapté ;
- et détection de marches harmoniques par l'algorithme proposé dans [6].

Ces résultats préliminaires montrent qu'il est possible de fournir quelques éléments d'analyse sur le développement. Ces techniques demanderaient à être complétées, et il serait intéressant de fournir une structure possible du développement en rassemblant ces divers éléments, par exemple par un modèle probabiliste.

3. DISCUSSION

La forme sonate est une structuration que l'on retrouve dans de nombreuses œuvres classiques et romantiques. Nos expériences sur quelques pièces montrent qu'il est possible informatiquement d'analyser ces partitions en retrouvant certains éléments du couple exposition/réexposition (début de la réexposition, parcours tonal à grande échelle). Pour progresser vers une analyse automatisée de telles formes, plusieurs pistes nous semblent importantes :

- un objectif serait d'identifier précisément (lorsque c'est possible) la fin du premier thème et le début du second, en s'appuyant sur la *césure médiane* (lorsqu'elle existe) [11, 12] ;
- plus généralement, on pourrait développer des méthodes *rassemblant plusieurs éléments analytiques* isolés (motifs, tonalités et cadences, marches harmoniques...) dans une analyse globalisante, que ce soit pour le développement ou pour la forme dans son ensemble ;
- de plus, ces méthodes devraient aussi pouvoir traiter directement du *matériau polyphonique* afin de permettre l'étude des pièces pour piano.

Enfin, pour évaluer et étalonner ces méthodes, il serait souhaitable de réaliser des *fichiers de vérité* tels que ceux réalisés sur les fugues [5]. Ces fichiers devraient s'appuyer sur des analyses de référence, comme par exemple, pour les oeuvres de Beethoven, celles de Helm, Radcliffe ou Tovey [9, 21, 25]. Ils contiendraient, pour un corpus varié, la position et la longueur des différents thèmes dans l'exposition et la réexposition, des motifs dans le développement, les cadences et le plan tonal global de chaque pièce. Ces fichiers devraient aussi permettre de coder les ambiguïtés possibles d'analyse [1].

Remerciements. Nous remercions Maxime Joos et Marc Rigaudière pour leurs discussions fructueuses.

4. REFERENCES

[1] Frédéric Bimbot, Emmanuel Deruty, Gabriel Sargent, and Emmanuel Vincent. Semiotic structure labeling of music pieces : Concepts, methods and annotation conventions. In Gouyon et al. [8], pages 235–240.

[2] William E. Caplin. *Classical Form : A Theory of Formal Functions for the Instrumental Music of Haydn, Mozart, and Beethoven.* Oxford University Press, 2000.

[3] William E. Caplin. The Classical Sonata Exposition : Cadential Goals and Form-Functional Plans. *Tijdschrift voor Muziektheorie*, 6(3) :195–209, 2001.

[4] Carl Czerny. *School of Practical Composition*. London, 1848.

[5] Mathieu Giraud, Richard Groult, Emmanuel Leguy, and Florence Levé. Computational Fugue Analysis. *submitted*, 2014.

[6] Mathieu Giraud, Richard Groult, and Florence Levé. Detecting episodes with harmonic sequences for fugue analysis. In Gouyon et al. [8], pages 457–462.

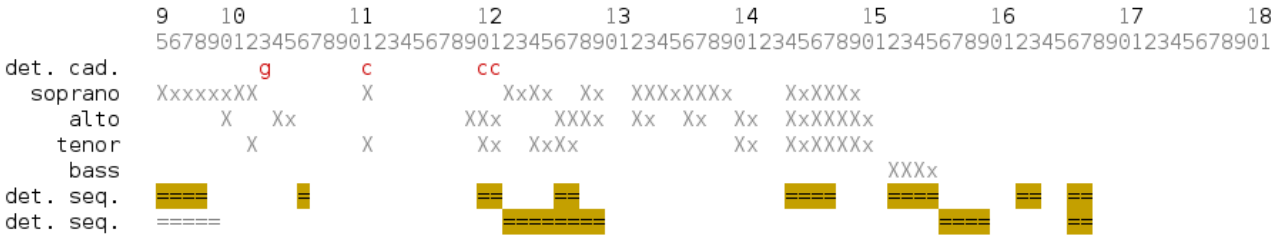

Figure 5. Expérimentation dans l'analyse de développement appliquée au premier mouvement du quatuor op. 33 nº 5 de Haydn (mesures 95 à 181). La première ligne montre une détection de cadences parfaites. Les lignes suivantes décrivent la détection d'éléments constitutifs des thèmes P et S dans le développement. Les deux dernières lignes montrent la détection de marches harmoniques.

[7] Mathieu Giraud, Richard Groult, and Florence Levé. Subject and counter-subject detection for analysis of the well-tempered clavier fugues. In Mitsuko Aramaki, Mathieu Barthet, Richard Kronland-Martinet, and Sølvi Ystad, editors, *CMMR*, volume 7900 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 422–438. Springer, 2012.

[8] Fabien Gouyon, Perfecto Herrera, Luis Gustavo Martins, and Meinard Müller, editors. *Proceedings of the 13th International Society for Music Information Retrieval Conference, ISMIR 2012, Mosteiro S.Bento Da Vitória, Porto, Portugal, October 8-12, 2012*. FEUP Edições, 2012.

[9] Theodor Helm. *Beethovens Streichquartette : Versuch einer technischen Analyse dieser Werke im Zusammenhange mit ihren geistigen Gehalt*. Leipzig, 1885.

[10] James Hepokoski. Beyond the sonata principle. *J. of the American Musicological Society*, 55(2) :91, 2002.

[11] James Hepokoski and Warren Darcy. The medial caesura and its role in the eighteenth-century sonata exposition. *Music Theory Spectrum*, 19(2) :115–154, 1997.

[12] James Hepokoski and Warren Darcy. *Elements of Sonata Theory : Norms, Types, and Deformations in the Late-Eighteenth-Century Sonata.* Oxford University Press, 2006.

[13] David Huron. Music information processing using the Humdrum toolkit : Concepts, examples, and lessons. *Computer Music J.*, 26(2) :11–26, 2002.

[14] Nanzhu Jiang and Meinard Müller. Automated methods for analyzing music recordings in sonata form. In Alceu de Souza Britto Jr., Fabien Gouyon, and Simon Dixon, editors, *ISMIR*, pages 595–600, 2013.

[15] Heinrich Christoph Koch. *Versuch einer Einleitung zur Composition (volume 3)*. Leipzig, 1793.

[16] Steve Larson. Recapitulation recomposition in the sonata-form first movements of Haydn's string quartets : Style change and compositional technique. *Music Analysis*, 22(1-2) :139–177, 2003.

[17] Adolph Bernhard Marx. *Die Lehre von der musikalischen Komposition (vol. 2 and 3)*. Leipzig, 1838, 1845.

[18] Jan Miyake. *The Role of Multiple New-key Themes in Selected Sonata-form Exposition*. PhD thesis, Univ. of New York, 2004.

[19] Marcel Mongeau and David Sankoff. Comparison of Musical Sequences. *Computers and the Humanities*, 24(3) :161–175, 1990.

[20] Oriol Nieto and Morwaread M. Farbood. Perceptual evaluation of automatically extracted musical motives. In *Proceedings of the 12th International Conference on Music Perception and Cognition*, pages 723–727, 2012.

[21] Phillip Radcliffe. *Beethoven's String Quartets*. E. P. Dutton, 1965.

[22] Leonard Ratner. *Classical Music : Expression, Form, and Style*. Schirmer, 1980.

[23] Anton Reicha. *Traité de haute composition musicale (volume 2)*. Paris, 1826.

[24] Charles Rosen. *Sonata Forms*. W. W. Norton, 1980.

[25] Donald Francis Tovey. *A Companion to Beethoven's Pianoforte Sonatas : Complete Analyses*. AMS Press (reedited in 1998), 1931.