

2 **Institut National des Langues et Civilisations**
3 **Orientales**

4 Département Textes, Informatique, Multilinguisme

5 **Titre du mémoire**

6 **MASTER**
7 **TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES LANGUES**

8 *Parcours :*
9 *Ingénierie Multilingue*

10 par

11 **Martin DIGARD**

12 *Directeur de mémoire :*
13 *Damien NOUVEL*

14 *Encadrant :*
15 *Florent JACQUEMARD*

16 Année universitaire 2020-2021

TABLE DES MATIÈRES

18	Liste des figures	4
19	Liste des tableaux	5
20	Introduction générale	7
21	1 Contexte	11
22	1.1 Langues naturelles et musique en informatique	12
23	1.2 La transcription automatique de la musique	14
24	1.3 La transcription automatique de la batterie	15
25	1.4 Les représentations de la musique	17
26	2 État de l'art	21
27	2.1 Monophonique et polyphonique	21
28	2.2 Audio vers MIDI	22
29	2.3 MIDI vers partition	23
30	2.4 Approche linéaire et approche hiérarchique	23
31	3 Méthodes	27
32	3.1 La notation de la batterie	27
33	3.2 Modélisation pour la transcription	34
34	3.3 Qparse	35
35	3.4 Les systèmes	37
36	4 Expérimentations	45
37	4.1 Le jeu de données	45
38	4.2 Analyse MIDI-Audio	47
39	4.3 Expérimentation théorique d'un système	51
40	4.4 Résultats et discussion	55
41	Conclusion générale	61
42	Bibliographie	63

LISTE DES FIGURES

44	1.1	Transcription automatique	16
45	1.2	Exemple évènements avec durée	18
46	1.3	Critère pour un évènement	18
47	1.4	Exemple évènements sans durée	18
48	1.5	Exemple de partition de piano	19
49	1.6	MusicXML	20
50	2.1	HMM	24
51	2.2	arbre_jazz	25
52	3.1	. . . . .	27
53	3.2	Rapport des figures de notes	28
54	3.3	Hauteur et têtes de notes	29
55	3.4	Point et liaison	30
56	3.5	Les silences	31
57	3.6	Silence joué	31
58	3.7	Équivalence	32
59	3.8	Séparation des voix	33
60	3.9	Les accents et les ghost-notes	33
61	3.10	Exemple pour les accentuations et les ghost-notes	33
62	3.11	Présentation de Qparse	36
63	3.12	Métrique	38
64	3.13	Motif 4-4 binaire	39
65	3.14	Motif 4-4 jazz	40
66	3.15	Système 4-4 afro-latin	40
67	3.16	Simplification	41
68	3.17	. . . . .	42
69	4.1	Batterie électronique	46
70	4.2	Partition de référence	50
71	4.3	Motifs et gammes	51
72	4.4	Partition d'un système en 4/4 binaire	52
73	4.5	Arbre de rythme — système	52
74	4.6	Arbre de rythme — voix haute	53
75	4.7	Arbre de rythme — voix basse	53
76	4.8	. . . . .	54
77	4.9	. . . . .	54
78	4.10	. . . . .	54
79	4.11	. . . . .	55

80	4.12	55
----	----------------	----

81

LISTE DES TABLEAUX

82	1.1 speechToText vs AMT	13
83	3.1 Pitches et instruments	34
84	3.2 Systèmes	38

INTRODUCTION GÉNÉRALE

86 QUOI?

87 Ce mémoire de recherche, effectué en parallèle d'un stage à l'Inria dans
88 le cadre du master de traitement automatique des langues de l'Inalco,
89 contient une proposition originale ainsi que diverses contributions dans
90 le domaine de la transcription automatique de la musique. Les travaux
91 qui seront exposés ont tous pour objectif d'améliorer **qparse**, un outil de
92 transcription automatique de la musique, et seront axés spécifiquement
93 sur le cas de la batterie.

94 Nous parlerons de transcription musicale, en suivant des méthodes
95 communes au domaine du traitement automatique des langues (TAL)
96 plutôt que directement de langues naturelles, et nous parlerons aussi de
97 génération automatique de partitions de musique à partir de données au-
98 dio ou symboliques. En considérant que la musique à l'instar des langues
99 naturelles est un moyen qui nous sert à exprimer nos ressentis sur le
100 monde et les choses, ce travail reposera sur une citation de l'ouvrage
101 de Danhauser [1] : « La musique s'écrit et se lit aussi facilement qu'on
102 lit et écrit les paroles que nous prononçons. » L'exercice exposé dans ce
103 mémoire nécessitera donc la manipulation d'un langage musical qui peut
104 être analysé à l'aide de théories formelles et d'outils adéquats comme
105 des grammaires (solfège, durées, nuances, volumes) et soulèvera des
106 problématiques qui peuvent être résolues par l'utilisation de méthodes
107 issues de l'informatique et de l'analyse des langues et des langages.

108

109 POURQUOI?

- 110 — sujet traité : la batterie
- 111 — intérêt spécifique de la génération de partition de batterie compa-
112 rativement au autres instrument
- 113 — patrimoine
- 114 — rapidité de génération (musicien ou enseignement)
- 115 — ...

116

117 <flo>il faut revoir la fin, avec une description rapide du problème, de la
118 méthode suivie et des contributions suivi d'un petit plan par parties.</flo>

119 COMMENT?

120 → Problématique :

121 L'écriture musicale offre de nombreuses possibilités pour la transcription

d'un rythme donné. Le contexte musical ainsi que la lisibilité d'une partition pour un batteur entraîné conditionnent les choix d'écriture. Reconnaître la métrique principale d'un rythme, la façon de regrouper les notes par des ligatures, ou simplement décider d'un usage pour une durée parmi les différentes continuations possibles (notes pointées, liaisons, silences, etc.) constituent autant de possibilités que de difficultés <dam>que de choix de représentation à réaliser?</dam>. De plus, la batterie est dotée d'une écriture spécifique par rapport à la majorité des instruments.

131

132 → Méthodes :

133 → Contributions :

134 <louison>liste des contributions : donner une échelle, un point de compa-
135 raison, du contexte, pour pouvoir mesurer l'importance de chaque contri-
136 bution</louison>

137 La proposition principale de ce mémoire est basée sur la recherche de
138 rythmes génériques sur l'*input*. Ces rythmes sont des *patterns* standards
139 de batterie définis au préalable et accompagnés par les différentes combi-
140 naisons qui leur sont propres. On les nomme systèmes (voir sections 3.4,
141 4.3). L'objectif des systèmes est de fixer des choix le plus tôt possible afin
142 de simplifier le reste des calculs en éliminant une partie d'entre eux. Ces
143 choix concernent notamment la métrique et les règles de réécriture.

144

145 La proposition ci-dessus a nécessité plusieurs sous-tâches :

- 146 — une modélisation de la notation de la batterie (fusion de 3.1 et de
147 3.2) qui était jusqu'à présent inexistante.
- 148 — plusieurs transcriptions manuelles dans le but d'analyser les conte-
149 nus des fichiers MIDI et Audio (4.2) et de faire des comparaisons
150 de transcription avec des outils déjà existants ¹.
- 151 — une partition de référence transcrite manuellement sur l'entièreté
152 d'une performance du jeu de données afin de repérer les éléments
153 importants pour la modélisation et de faire les liens entre les cri-
154 tères des données d'*input* avec l'écriture finale (4.2). Cette partition
155 avait aussi pour objectif d'effectuer des tests et des évaluations.
- 156 — le passage au polyphonique en théorie et en implémentation im-
157 pliquant la théorie sur la détection de l'identité de notes dans un
158 Jam ² et l'implémentation de tests unitaires sur le traitement des
159 Jams (4.4).
- 160 — la création de grammaires pondérées spécifiques à la batterie (4.4)

161

1. MuseScore3

2. groupe de notes rassemblées en raison d'un faible écart entre leur emplacements temporels

162 L'ensemble de ces sous-tâches a permis deux réalisations principales :
163 1) Obtenir des arbres de rythmes corrects en *output* de *qparse* avec des
164 exemples courts proches de la partition de référence.
165 2) La création d'une expérimentation théorique d'un système 4.3 dont
166 le but premier est de démontrer qu'elle est implémentable et applicable
167 à d'autres type de rythmes et dont le second objectif est de donner une
168 méthode de création d'un système à partir d'une partition.
169 Ces deux réalisations recouvrent une partie du chemin à parcourir
170 puisque pour effectuer des évaluations conséquentes sur résultat, la
171 chaîne de traitement doit être finie afin de pouvoir vérifier de manière
172 empirique que les systèmes, qui constituent ma contribution principale
173 pour ce mémoire, ont permis d'améliorer *qparse* pour la transcription
174 automatique de la batterie.

175

176 PLAN

177 Nous présenterons le contexte (chapitre 1) suivi d'un état de l'art (chapitre
178 2) et nous définirons de manière générale le processus de transcription
179 automatique de la musique pour enfin étayer les méthodes (chapitre 3)
180 utilisées pour la transcription automatique de la batterie. Nous décrirons
181 ensuite le corpus ainsi que les différentes expérimentations menées (cha-
182 pitre 4). Nous concluerons par une discussion sur les résultats obtenus et
183 les pistes d'améliorations futures à explorer. Les contributions apportées
184 à l'outil *qparse* seront exposées dans les chapitres 3 et 4.

CONTEXTE

Sommaire

1.1	Langues naturelles et musique en informatique	12
1.2	La transcription automatique de la musique	14
1.3	La transcription automatique de la batterie	15
1.4	Les représentations de la musique	17

Introduction

La transcription automatique de la musique (TAM) est un défi ancien [2] et difficile qui n'est toujours pas résolu de manière satisfaisante par les systèmes actuels. Il a engendré une grande variété de sous-tâches qui ont donné naissance au domaine de la recherche d'information musicale (RIM)¹. Actuellement, en raison de la nature séquentielle et symbolique des données musicales et du fait que les travaux en TAL sont assez avancés en analyse de données séquentielles ainsi qu'en traitement du signal, de nombreux travaux de RIM font appel au TAL. Certains de ces travaux se concentrent notamment sur l'analyse des paroles de chansons². Mais d'autres traitent directement la musique + ref.

Dans ce chapitre, nous parlerons de l'informatique musicale, nous montrerons les liens existants entre le RIM et le TAL ainsi qu'entre les notions de langage musical et langue naturelle. Nous traiterons également du problème de l'AMT et de ses applications.

Enfin, nous décrirons les représentations de la musique qui sont nécessaires à la compréhension du présent travail.

1. <https://ismir.net/>

2. NLP4MuSA, the 2nd Workshop on Natural Language Processing for Music and Spoken Audio, co-located with ISMIR 2021.

213 1.1 Langues naturelles et musique en 214 informatique

215 COMPUTER MUSIC

216 L'informatique musicale ou *Computer Music* regroupe l'ensemble des mé-
217 thodes permettant de créer ou d'analyser des données musicales à l'aide
218 d'outils informatiques [3]. Ce domaine implique l'utilisation de méthodes
219 numériques pour l'analyse et la synthèse de musique³, qu'il s'agisse
220 d'informations audio, ou symboliques (aide à l'écriture, transcription,
221 base de partitions...). Un exemple de tâche dans ce domaine pourrait
222 être l'analyse de la structure de la musique et de la reconnaissance des
223 accords⁴.

224 RIM

225 La RIM est née du domaine de l'informatique musicale et apparaît vers
226 le début des années 2000 [5]. L'objectif de cette science est la recherche
227 et l'extraction d'informations à partir de données musicales. Il s'agit
228 d'un vaste champ de recherche pluridisciplinaire, à l'intersection de
229 acoustique, signal, synthèse sonore, informatique, sciences cognitives,
230 neurosciences, musicologie, psycho-acoustique, etc. Cette discipline
231 récente a notamment été soutenue par de grandes entreprises technolo-
232 giques^{5 6 7} qui veulent développer des systèmes de recommandation de
233 musique ou des moteurs de recherche dédiés au son et à la musique.

234 RIM et TAL

235 Aborder la musique comme un langage avec des méthodes de TAL né-
236 cessite une réflexion autour de la musique en tant que langage ainsi que
237 la possibilité de comparer ce même langage avec les langues naturelles.
238 Léonard Bernstein [6] a donné une série de six conférences publiques
239 à Harvard fondées en grande partie sur les théories linguistiques que
240 Noam Chomsky a exposées dans son livre « Language and Mind ». Lors
241 de la première conférence, qui a eu lieu le 9 octobre 1973, Bernstein a
242 avoué être hanté par la notion d'une grammaire musicale mondiale innée
243 et il analyse dans ses trois premières conférences, la musique en termes
244 linguistiques (phonologie, syntaxe et sémantique). Quelques travaux en
245 neurosciences ont également abordé ces questions, notamment par ob-
246 servation des processus cognitifs et neuronaux que les systèmes de trai-

3. Voir la transformée de Fourier pour la musique dans [4]

4. En musique, un accord est un ensemble de notes considéré comme formant un tout du point de vue de l'harmonie. Le plus souvent, ces notes sont jouées simultanément; mais les accords peuvent aussi s'exprimer par des notes successive

5. <https://research.deezer.com/>

6. <https://magenta.tensorflow.org/>

7. <https://research.atspotify.com/>

tement de ces deux productions humaines avaient en commun. Dans le travail de Poulin-Charronnat *et al.* [7], la musique est reconnue comme étant un système complexe spécifique à l'être humain dont une des similitudes avec les langues naturelles est l'émergence de régularités reconnues implicitement par le système cognitif. La question de la pertinence de l'analogie entre langues naturelles et langage musical a également été soulevée à l'occasion de projets de recherche en TAL. Keller *et al.* [8] ont exploré le potentiel de ces techniques à travers les plongements de mots et le mécanisme d'attention pour la modélisation de données musicales. La question de la sémantique d'une phrase musicale apparaît, selon eux, à la fois comme une limite et un défi majeur pour l'étude de cette analogie. Ces considérations nous rapproche de la sémiologie de F. de Saussure en tant que science générale des signes et dont la langue ne serait qu'un cas particulier, caractérisé par l'arbitrariété totale de ses unités [9].

exemples / illustration de la proximité thématique?

D'autres travaux très récents, ont aussi été révélés lors de la première conférence sur le NLP pour la musique et l'audio (NLP4MusA 2020). Lors de cette conférence, Jiang *et al.* [10] ont présenté leur implémentation d'un modèle de langage musical visant à améliorer le mécanisme d'attention par élément, déjà très largement utilisé dans les modèles de séquence modernes pour le texte et la musique. Le domaine du TAL qui se rapproche le plus du RIM est la reconnaissance de la parole (Speech to text). En effet, la séparation des sources ont des approches similaires dans les deux domaines. De plus, il existe un lien entre partition musicale comme manière d'écrire la musique et texte comme manière d'écrire la parole. La transcription musicale étant la notation d'une œuvre musicale initialement non écrite, l'analogie avec l'écriture de la parole est aisée. Le tableau 1.1 montre des différences et des similitudes entre les deux domaines.

Domaines	Similitudes	Différences
Speech to text AMT	signal \Rightarrow phonèmes \Rightarrow texte signal \Rightarrow notes, accords \Rightarrow partition	données linéaires données structurées

TABLE 1.1 – speechToText vs AMT

Non seulement les objectifs sont similaires, mais les problèmes et les applications, eux aussi, sont comparables (transcription, synthèse, séparation de sources, ...). Il faut néanmoins relever que les informations sont traitées sont de nature différente (voir *mettre ref vers sous-tâches comme beat tracking et inférence de tempo en musique*).

283 1.2 La transcription automatique de la musique

284 1. OBJECTIF

285 Lorsqu'un musicien est chargé de créer une partition à partir d'un
286 enregistrement et qu'il écrit les notes qui composent le morceau en
287 notation musicale, on dit qu'il a créé une transcription musicale de cet
288 enregistrement. L'objectif de la TAM [11] est de convertir la performance
289 d'un musicien en notation musicale — à l'instar de la conversion de la
290 parole en texte dans le traitement du langage naturel. Cette définition
291 peut être comprise de deux manières différentes selon les articles scien-
292 tifiques : 1) Processus de conversion d'un enregistrement audio en une
293 notation pianoroll (une représentation bidimensionnelle des notes de
294 musique dans le temps) 2) Processus de conversion d'un enregistrement
295 en notation musicale commune⁸ (c'est-à-dire une partition).

296

297 2. APPLICATIONS

298 La TAM a des applications multiples [11] dont la plus directe est de don-
299 ner la possibilité à un musicien de générer la partition d'une improvisa-
300 tion en temps réel afin de pouvoir reproduire sa performance ultérieure-
301 ment. Une autre application notable est la préservation du patrimoine
302 par exemple dans les styles musicaux où il n'existe peu de partitions (le
303 jazz, la pop, les musiques de tradition orale⁹, ...). La TAM est aussi utile
304 pour la recherche et l'annotation automatique d'informations musicales,
305 pour l'analyse musicologique¹⁰ ou encore pour les systèmes musicaux in-
306 teractifs.

307 Un grand nombre de fichiers audio et vidéos musicaux sont disponibles
308 sur le Web, et pour la plupart d'entre eux, il est difficile de trouver les
309 partitions musicales correspondantes, qui sont pourtant nécessaires pour
310 pratiquer la musique, faire des reprises ou effectuer une analyse musicale
311 détaillée.

312 Mais l'intérêt de la TAM est aussi d'avoir des partitions au contenu
313 exploitable, avec des formats texte ou XML (entre autres...) dont les
314 données sont manipulables, contrairement à de simples images en pdf¹¹.

315

316 3. PROBLÈMES ET MÉTHODES SCIENTIFIQUES

317 Les modèles grammaticaux qui représentent la structure hiérarchique
318 des séquences d'accords se sont avérés très utiles dans les analyses
319 récentes de l'harmonie du jazz [12]. Comme déjà évoqué précédemment,
320 il s'agit d'un problème ancien et difficile. C'est un « graal » de l'infor-

8. Ici, on parle de notation occidentale.

9. ethno-musicologie

10. par exemple par la constitution de corpus musicologiques

11. Voir <https://archive.fosdem.org/2017/schedule/event/openscore/> et
0_slides-Martin.pdf.

matique musicale. En 1976, H. C. Longuet-Higgins [2] évoquait déjà la représentation musicale en arbre syntaxique dans le but d'écrire automatiquement des partitions à partir de données audio en se basant sur un mimétisme psychologique de l'approche humaine. De même pour les chercheurs en audio James A. Moorer, Martin Piszczalski et Bernard Galler qui, en 1977¹², ont utilisé leurs connaissances en ingénierie de l'audio et du numérique pour programmer un ordinateur afin de lui faire analyser un enregistrement musical numérique de manière à détecter les lignes mélodiques, les accords et les accents rythmiques des instruments à percussion.

La tâche de transcription automatique de la musique comprend deux activités distinctes : l'analyse d'un morceau de musique et l'impression d'une partition à partir de cette analyse.

La figure 1.1 est une proposition de Benetos *et al.* [11] qui représente l'architecture générale d'un système de transcription musicale. On y observe plusieurs sous-tâches de l'AMT :

- La séparation des sources à partir de l'audio.
- Le système de transcription :
 - Cœur du système :
 - ⇒ Algorithmes de détection des multi-pitchs et de suivi des notes.
 - Quatres sous-tâches optionnelles accompagnent ces algorithmes :
 - identification de l'instrument ;
 - estimation de la tonalité et de l'accord ;
 - détection de l'apparition et du décalage ;
 - estimation du tempo et du rythme.
- Apprentissage sur des modèles acoustiques et musicologiques.
- *Optionnel* : Informations fournies de manière externe, soit fournie en amont (genre, instruments, ...), soit par interaction avec un utilisateur (infos sur une partition incomplète).

quel rapport ?

la figure ne correspond pas à ton travail. ici "score" = MIDI performance. Tu peux lister les sous-tâches en section 2.2

éviter newpage

1.3 La transcription automatique de la batterie

La batterie est un instrument récent qui s'est longtemps passé de partition. En effet pour un batteur, la qualité de lecteur lorsqu'elle était nécessaire, résidait essentiellement dans sa capacité à lire les partitions des autres instrumentistes (par exemple, les grilles d'accords et la mélodie du thème en jazz) afin d'improviser un accompagnement approprié que personne ne pouvait écrire pour lui à sa place.

tres bonne section

12. [https://en.wikipedia.org/wiki/Transcription_\(music\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Transcription_(music))

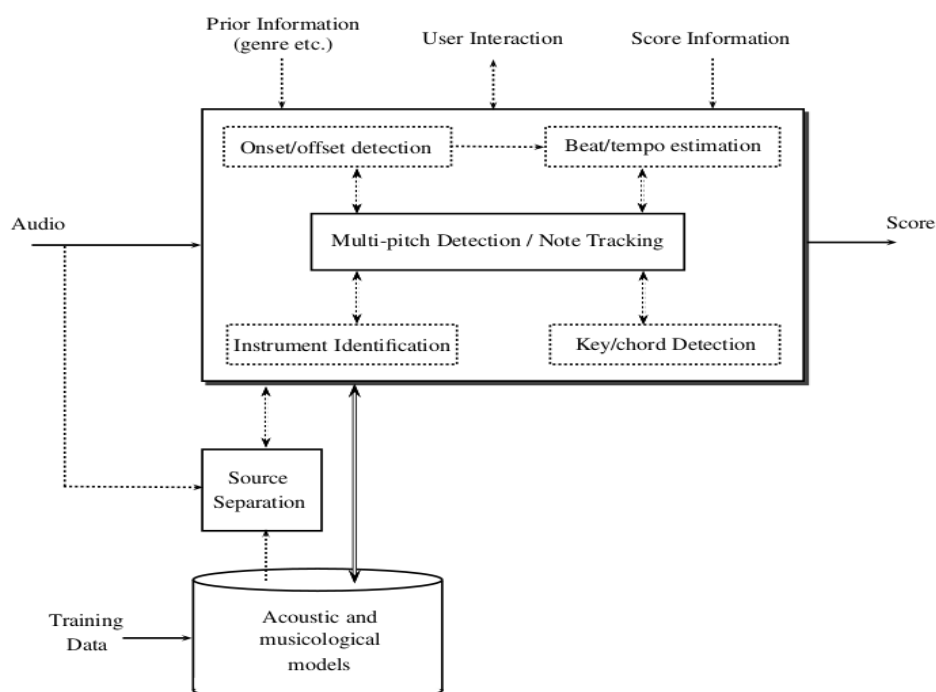


FIGURE 1.1 – Transcription automatique

Les sous-systèmes et algorithmes optionnels sont présentés à l'aide de lignes pointillées. Les doubles flèches mettent en évidence les connexions entre les systèmes qui incluent la fusion d'informations et une communication plus interactive entre les systèmes.

362 Les partitions de batterie sont arrivées par nécessité avec la pédagogie et
 363 l'émergence d'écoles de batterie partout dans le monde. Un autre facteur
 364 qui a contribué à l'expansion des partitions de batterie est l'émergence
 365 de la musique assistée par ordinateur (MAO). En effet, l'usage de boîtes
 366 à rythmes¹³ ou de séquenceurs¹⁴ permettant d'expérimenter soi-même
 367 l'écriture de rythmes en les écoutant mixés avec d'autres instruments sur
 368 des machines a permis aux compositeurs de s'émanciper de la création
 369 d'un batteur en lui fournissant une partition contenant les parties exactes
 370 qu'ils voulaient entendre sur leur musique.

371 La batterie a un statut à part dans l'univers de l'AMT puisqu'il s'agit
 372 d'instruments sans hauteur (du point de vue harmonique), d'événements
 373 sonores auxquels une durée est rarement attribuée et de notations spéci-
 374 fiques (symboles des têtes de notes).

375 Les applications de l'ADT seraient utiles, non seulement dans tous les

cite méthode et école Agostini?

citer [13] ici

ADT pas défini

13. Roland TR-808

14. SQ-1

domaines musicaux contenant de la batterie dont certains manquent de partitions, notamment les musiques d'improvisation (jazz, pop) [11], mais aussi de manière plus générale dans le domaine du MIR : si les ordinateurs étaient capables d'analyser la partie de la batterie dans la musique enregistrée, cela permettrait une variété de tâches de traitement de la musique liées au rythme. En particulier, la détection et la classification des événements sonores de la batterie par des méthodes informatiques est considérée comme un problème de recherche important et stimulant dans le domaine plus large de la recherche d'informations musicales [13]. L'ADT est un sujet de recherche crucial pour la compréhension des aspects rythmiques de la musique, et a un impact potentiel sur des domaines plus larges tels que l'éducation musicale et la production musicale.

"contenant" -> concernés par

permettrait de faciliter

1.4 Les représentations de la musique

citer M. Müller FMP pour cette section ?

Les données audio

Le fichier WAV¹⁵ est une instance du Resource Interchange File Format (RIFF) défini par IBM et Microsoft. Le format RIFF agit comme une "enveloppe" pour divers formats de codage audio. Bien qu'un fichier WAV puisse contenir de l'audio compressé, le format audio WAV le plus courant est l'audio non compressé au format LPCM (linear pulse-code modulation). Le LPCM est également le format de codage audio standard des CD audio, qui stockent des données audio LPCM à deux canaux échantillonnées à 44 100 Hz avec 16 bits par échantillon. Comme le LPCM n'est pas compressé et conserve tous les échantillons d'une piste audio, les utilisateurs professionnels ou les experts en audio peuvent utiliser le format WAV avec l'audio LPCM pour obtenir une qualité audio maximale.

trop technique. ne pas recopier wikipédia

LPCM pas utile ici. parle juste échantillons et compression.

tu peux mentionner le format spectral (analyse harmonique) crucial en MIR audio.

Les données MIDI

Le MIDI¹⁶ (Musical Instrument Digital Interface) est une norme technique qui décrit un protocole de communication, une interface numérique et des connecteurs électriques permettant de connecter une grande variété d'instruments de musique électroniques, d'ordinateurs et d'appareils audio connexes pour jouer, éditer et enregistrer de la musique.

ne pas copier wikipédia verbatim. source : midi.org MIDI est un protocole temps réel pour échanger des messages (événement) et un format de fichier.

Les données midi sont représentées sous forme de piano-roll. Chaque point sur la figure 1.2 est appelé « événement MIDI » :

fichier MIDI = séquence événements MIDI + dates (timestamp) performance musicale symbolique

Chaque événement MIDI rassemble un ensemble d'informations sur la hauteur, la durée, le volume, etc. . . :

donner ici les données des événements et expliquer ON/OFF (clavier)

15. <https://en.wikipedia.org/wiki/WAV>

16. <https://en.wikipedia.org/wiki/MIDI>

il n'y a pas de durée d'événement dans un MIDI file. la "durée" est une distance entre 2 événements ON et OFF (c'est important dans ton travail). le screenshot n'est pas utile, écrit plutôt une liste itemize

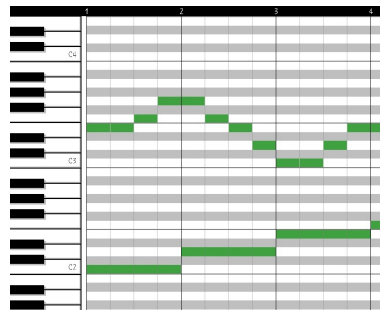


FIGURE 1.2 – Exemple évènements avec durée

Protocol	Event
Property	Value
Type	Note On/Off Event
On Tick	15812
Off Tick	15905
Duration	93
Note	45
Velocity	89
Channel	9

FIGURE 1.3 – Critère pour un évènement

415 Pour la batterie, les évènements sont considérés sans durée, nous ignore-
 416 rons donc les offsets (« Off Event »), les « Off Tick » et les « Duration ». Le
 417 *channel* ne nous sera pas utile non plus.

418 *Ici, définir Tick et channel.*

Voici un exemple de piano-roll midi pour la batterie :

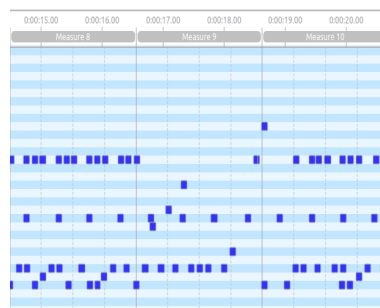


FIGURE 1.4 – Exemple évènements sans durée

419

420 On observe que toutes les durées sont identiques.



FIGURE 1.5 – Exemple de partition de piano

Les partitions

Une partition de musique¹⁷ est un document qui porte la représentation systématique du langage musical sous forme écrite. Cette représentation est appelée transcription et elle sert à traduire les quatre caractéristiques du son musical :

- la hauteur ;
- la durée ;
- l'intensité ;
- le timbre.

Ainsi que de leurs combinaisons appelées à former l'ossature de l'œuvre musicale dans son déroulement temporel, à la fois :

- diachronique (succession des instants, ce qui constitue en musique la mélodie) ;
- et synchronique (simultanéité des sons, c'est-à-dire l'harmonie).

Le format MusicXML

MusicXML est un format de fichier basé sur XML pour représenter la notation musicale occidentale. Ce format est ouvert, entièrement documenté et peut être utilisé librement dans le cadre de l'accord de spécification finale de la communauté du W3C.

Un des avantages de ce format est qu'il peut être converti aussi bien en données MIDI qu'en partition musicale, ce qui en fait une interface homme/machine.

Le figure 1.6¹⁸ représente un do en clef de sol de la durée d'une ronde sur une mesure en 4/4.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons établi que le MIR s'intéresse de plus en plus au TAL, et que, par ce biais, il y a des liens possibles entre le langage

expliquer un peu plus avec exemple. ce serait mieux d'avoir un ex. avec des nuances, accents, appoggiatures...

explications sur l'aspect structuré (hiérarchie) : les mesures, les groupes rythmiques... c'est important ici

existe plusieurs formats XML : MusicXML, MEI, MNX, qui sont autant de schemas XML

standard W3C = MNX (en cours)

inconvenient : format.s verbeux et ambigus. -> on utilise pour la transcription une représentation intermédiaire abstraite décrite plus loin.

17. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Partition_\(musique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Partition_(musique))

18. Source images : <https://fr.wikipedia.org/wiki/MusicXML>

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<!DOCTYPE score-partwise PUBLIC
  "-//Recordare//DTD MusicXML 3.1 Partwise//EN"
  "http://www.musicxml.org/dtds/partwise.dtd">
<score-partwise version="3.1">
  <part-list>
    <score-part id="P1">
      <part-name>Music</part-name>
    </score-part>
  </part-list>
  <part id="P1">
    <measure number="1">
      <attributes>
        <divisions>1</divisions>
        <key>
          <fifths>0</fifths>
        </key>
        <time>
          <beats>4</beats>
          <beat-type>4</beat-type>
        </time>
        <clef>
          <sign>G</sign>
          <line>2</line>
        </clef>
      </attributes>
      <note>
        <pitch>
          <step>C</step>
          <octave>4</octave>
        </pitch>
        <duration>4</duration>
        <type>whole</type>
      </note>
    </measure>
  </part>
</score-partwise>

```



FIGURE 1.6 – MusicXML

451 musical et les langues naturelles, le plus proche étant probablement le
 452 phénomène d'écriture des sons de l'un comme de l'autre.
 453 Nous avons également établi que le MIR est né de l'AMT qui est un pro-
 454 blème ancien et très difficile et qu'il serait toujours très utile de le ré-
 455 soudre (autant pour l'AMT que pour l'ADT).
 456 Et enfin, nous avons décrit les représentations de la musique nécessaires
 457 à la compréhension du présent mémoire, allant du son jusqu'à l'écriture.

ÉTAT DE L'ART

Sommaire

2.1	Monophonique et polyphonique	21
2.2	Audio vers MIDI	22
2.3	MIDI vers partition	23
2.4	Approche linéaire et approche hiérarchique	23

Introduction

Dans ce chapitre, nous observerons les différentes avancées qui ont déjà eu lieu dans le domaine de la transcription automatique de la musique et de la batterie afin de situer notre démarche.

présenterons quelques travaux antérieurs

Nous aborderons le passage crucial du monophonique au polyphonique dans la transcription. Nous ferons un point sur les deux grandes parties de l'AMT de bout en bout : de l'audio vers le MIDI puis des données MIDI vers l'écriture d'une partition. Ensuite, nous discuterons des approches linéaires et des approches hiérarchiques.

2.1 Monophonique et polyphonique

Les premiers travaux en transcription ont été faits sur l'identification des instruments monophoniques¹ [11]. Actuellement, le problème de l'estimation automatique de la hauteur des signaux monophoniques peut être considéré comme résolu, mais dans la plupart des contextes musicaux, les instruments sont polyphoniques². L'estimation des hauteurs multiples

1. Instruments produisant une note à la fois, ou plusieurs notes de même durée en cas de monophonie par accord (flûte, clarinette, sax, hautbois, basson, trombone, trompette, cor, etc...)

2. guitare, piano, basse, violon, alto, violoncelle, contrebasse, glockenspiel, marimba, etc...

(détection multi-pitches ou F0 multiples) est le problème central de la création d'un système de transcription de musique polyphonique. Il s'agit de la détection de notes qui peuvent apparaître simultanément et être produites par plusieurs instruments différents. Ce défi est donc majeur pour la batterie puisque c'est un instrument qui est lui-même constitué de plusieurs instruments (caisse-claire, grosse-caisse, cymbales, toms, etc...). Le fort degré de chevauchement entre les durées ainsi qu'entre les fréquences complique l'identification des instruments polyphoniques. Cette tâche est étroitement liée à la séparation des sources et concerne aussi la séparation des voix. Les performances des systèmes actuels ne sont pas encore suffisantes pour permettre la création d'un système automatisé capable de transcrire de la musique polyphonique sans restrictions sur le degré de polyphonie ou le type d'instrument. Cette question reste donc encore ouverte.

2.2 Audio vers MIDI

Jusqu'à aujourd'hui, les recherches se sont majoritairement concentrées sur le traitement du signal vers la génération du MIDI [14].

Cette partie englobe plusieurs sous-tâches dont la détection multi-pitches, la détection des onset et des offset, l'estimation du tempo, la quantification du rythme, la classification des genres musicaux, etc...

En ADT [13], plusieurs stratégies de répartition pré/post-processing sont possibles pour la détection multi-pitches. Entamer la détection dès le pré-processing, en supprimant les features non-pertinentes pendant la séparation des sources afin d'obtenir une meilleure détection des instruments de la batterie, est une démarche intuitive : supprimer la structure harmonique pour atténuer l'influence des instruments à hauteurs sur la détection grosse-caisse et caisse-claire en est un exemple. Mais certaines études montrent que des expériences similaires ont donné des résultats non-concluants et que la suppression des instruments à hauteurs peut avoir des effets néfastes sur les performances de l'ADT. En outre, les systèmes d'ADT basés sur des réseaux de neurones récurrents (RNN) ou sur des factorisations matricielles non négative font la séparation des sources pendant l'optimisation, ce qui réduit la nécessité de la faire pendant le pré-processing.

Pour la reconnaissance des instruments, une approche possible [15] est de mettre un modèle probabiliste dans l'étape de la classification des événements afin de classer les différents sons de la batterie. Cette méthode permet de se passer de samples audio isolés en modélisant la progression temporelle des *features*³ avec un modèle de markow caché (HMM). Les

3. Features : caractéristiques individuelles mesurables d'un phénomène dans le domaine de l'apprentissage automatique et de la reconnaissance des formes

de signaux audio

500

MIDI non-quantifié = performance (à expliquer)

501

502

en général tempo et quantification ne sont pas traités ici, le but est seulement la génération d'un MIDI non quantifié

503

505

506

507

cela pourra être utile d'avoir une explication (ou en 1.4) sur la différence entre les timings de performance (dont le MIDI non quantifié est un enregistrement symbolique) et le timing des partitions, avec 2 unités temporelles différentes (secondes et temps) en relation par tempo.

508

509

510

511

512

513

514

515

classification des genres? ce n'est pas de la transcription! séparation des sources? oui.

516

517

518

avant l'ADT, il faudrait 2 mots sur les techniques utilisées (cf. survey AMT Benetos et al.)

519

520

521

haute fréquence, aigus?

522

523

classification des événements? la phrase semble redondante

524 *features* sont transformés en représentations statistiques indépendantes.
 525 L'approche AdaMa [16] est une autre approche de la même catégorie ; elle
 526 commence par une estimation initiale des sons de la batterie qui sont ité-
 527 rativement raffinés pour correspondre à (pour matcher) l'enregistrement
 528 visé.

pas clair... peut-être juste
mentionner les modèles
probabilistes utilisés

529 2.3 MIDI vers partition

530
 531 Le plus souvent, lorsque les articles abordent la transcription automa-
 532 tique de bout en bout (de l'audio à la partition), l'appellation « *score* »
 533 (partition) désigne un ouput au format Music XML, ou simplement MIDI.
 534 Par exemple, dans [17], la chaîne de traitement va jusqu'à la génération
 535 d'une séquence MIDI quantifiée qui est importée dans MuseScore pour en
 536 extraire manuellement un fichier MusicXML contenant plusieurs voix.
 537 Seuls quelques travaux récents s'intéressent de près à la création d'outils
 538 permettant la génération de partition. Le problème de la conversion d'une
 539 séquence d'évènements musicaux symboliques en une partition musicale
 540 structurée est traité notamment dans [18]. Ce travail, qui vise à résoudre
 541 en une fois la quantification rythmique et la production de partition struc-
 542 turée, s'appuie tout au long du processus sur des grammaires génératives
 543 qui fournissent un modèle hiérarchique *a priori* des partitions. Les expé-
 544 riences ont des résultats prometteurs, mais il faut relever qu'elle ont été
 545 menées avec un ensemble de données composé d'extraits monophoniques ;
 546 il reste donc à traiter le passage au polyphonique, en couplant le problème
 547 de la séparation des voix avec la quantification du rythme.
 548 L'approche de [18] est fondée sur la conviction que la complexité de la
 549 structure musicale dépasse les modèles linéaires.

ce n'est pas exactement
cela. cf. proposition de des-
cription + détaillée en com-
mentaires

de manière conjointe

langage *a priori*

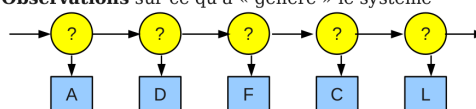
qui nécessite de traiter le
problème supplémentaire
de la séparation de voix. i.e.
pour la batterie on n'event
quantification + structu-
ration + séparation mais
seules les 2 premières sont
couplées dans l'approche de
tonn stage.

550 2.4 Approche linéaire et approche hiérarchique

551 Plusieurs travaux ont d'abord privilégié l'approche stochastique. Par
 552 exemple, Shibata *et al.* [17] ont utilisé le modèle de Markov caché (HMM)⁴
 553 pour la reconnaissance de la métrique. Les auteurs utilisent d'abord deux
 554 réseaux de neurones profonds, l'un pour la reconnaissance des pitches et
 555 l'autre pour la reconnaissance de la vitesse. Pour la dernière couche, la
 556 probabilité est obtenue par une fonction sigmoïde. Ils construisent en-
 557 suite plusieurs HMM métriques étendus pour la musique polyphonique
 558 correspondant à des métriques possibles, puis ils calculent la probabilité
 559 maximale pour chaque modèle afin d'obtenir la métrique la plus probable.

4. https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle_de_Markov_caché
https://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_Markov_model

- Modèle de Markov **caché** :
 - **Hidden Markov Model (HMM) (Baum, 1965)**
 - Modélisation d'un processus stochastique « **génératif** » :
 - État du système : non connu
 - Connaissance pour chaque état des **probabilités** comme état initial, de **transition** entre états et de **génération** de symboles
 - **Observations** sur ce qu'a « généré » le système



- Applications : physique, reconnaissance de parole, traitement du langage, bio-informatique, finance, etc.

FIGURE 2.1 – HMM

560 *Source : Cours de Damien Nouvel*⁵

561

562

563 L'évaluation finale des résultats de [17] montre qu'il faut rediriger l'atten-
 564 tion vers les valeurs des notes, la séparation des voix et d'autres éléments
 565 délicats de la partition musicale qui sont significatifs pour l'exécution de
 566 la musique. Or, même si la quantification du rythme se fait le plus souvent
 567 par la manipulation de données linéaires allant notamment des *real time*
 568 *units* (secondes) vers les musical *time units* (temps, métrique, . . .), de nom-
 569 breux travaux suggèrent d'utiliser une approche hiérarchique puisque le

je ne comprend pas bien 570
 l'explication. le pb est plu-
 tot vue locale (déduction de
 la proba d'une durée à par-
 tir de la durée précédente,
 par ex. dans un HMM) vs
 vue globale, dans une hié-
 rarchie 574

RT? 575
 576

techniques de réécriture 577
 appliquée à la déduction
 automatique, calcul symbo-
 lique 578
 579

le calcul d'équiv. 580
 581

citer thèse de David Rizo 584
 (Valencia) 585

582

583 La nécessité d'une approche hiérarchique pour la production automatique
 de partition est évoquée dans [18]. Les modèles de grammaire qui y sont
 exposés sont différents de modèles markoviens linéaires de précédents
 travaux. 586

5. <https://damien.nouvel.net/fr/enseignement>

Example: *Summertime*

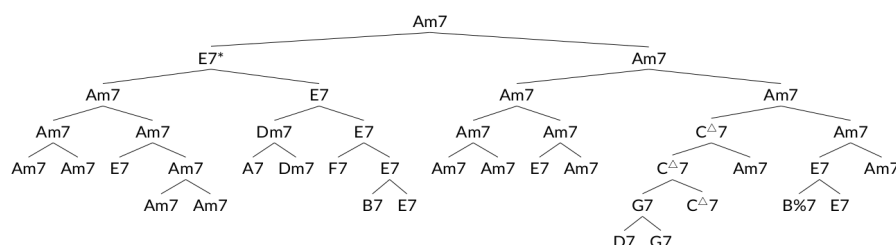


FIGURE 2.2 – arbre_jazz
Représentation arborescente d'une grille harmonique [12]

Conclusion

La plupart des travaux déjà existants sur l’ADT ont été énumérés par Wu *et al.* [13] qui, pour mieux comprendre la pratique des systèmes d’ADT, se concentrent sur les méthodes basées sur la factorisation matricielle non négative et celles utilisant des réseaux neuronaux récurrents. La majorité de ces recherches se concentre sur des méthodes de calcul pour la détection d’événements sonores de batterie à partir de signaux acoustiques ou sur la séparation entre les événements sonores de batterie avec ceux des autres instruments dans un orchestre ou un groupe de musique [22], ainsi que sur l’extraction de caractéristiques de bas niveau telles que la classe d’instrument et le moment de l’apparition du son. Très peu d’entre eux ont abordé la tâche de générer des partitions de batterie et, même quand le sujet est abordé, l’output final n’est souvent qu’un fichier MIDI ou MusicXML et non une partition écrite.

Il n'existe pas de formalisation de la notation de la batterie ni de réelle génération de partition finale, dont les enjeux principaux seraient :

- 1) le passage du monophonique au polyphonique, comprenant la distinction entre les sons simultanés et les flas ou autres ornements ;
- 2) les choix d'écritures spécifiques à la batterie concernant la séparation des voix et les continuations.

à ma connaissance, aucun des travaux en nADT ne produit de partition XML

diff. pour production de partition (et 1 des obj. du stage) est...

latex : enumerate

MÉTHODES

Sommaire

611	3.1	La notation de la batterie	27
612	3.2	Modélisation pour la transcription	34
613	3.3	Qparse	35
614	3.4	Les systèmes	37

Introduction

Dans ce chapitre, nous expliquerons en détail les méthodes que nous avons employées pour l'ADT.

Pour commencer, nous exposerons une description de la notation de la batterie ainsi qu'une modélisation de celle-ci pour la représentation des données rythmiques en arbres syntaxiques. Nous poursuivrons avec une présentation de qparse¹, un outil de transcription qui est développé à l'Inria, l'Université de Nagoya et au sein du laboratoire Cedric au CNAM.

Enfin, nous présenterons les systèmes.

plusieurs développeurs

systèmes, une représentation théorique qui permet...

3.1 La notation de la batterie



FIGURE 3.1

La figure 3.1 montre 4 figures de notes les plus courantes dont les noms et les durées sont respectivement, de gauche à droite :

— La ronde, elle vaut 4 ;

durées exprimées en unité de temps musicale, appelée le *temps*, cf. section...

4 temps

1. <https://qparse.gitlabpages.inria.fr/>

632 — La blanche, elle vaut 2 ;

633 — La noire, elle vaut 1 ;

634 — La croche, elle vaut 1/2.

plusieurs éléments

635

Une figure de note [1] de musique combine plusieurs critères ² :

— Une tête de note :

Sa position sur la portée indique la hauteur de la note. La tête de note peut aussi indiquer une durée.

— Une hampe :

Indicatrice d'appartenance à une voix en fonction de sa direction et indicatrice d'une durée représentée par sa présence ou non (blanche \neq ronde)

— Un crochet : La durée d'une note est divisée par deux à chaque crochet ajouté à la hampe d'une figure de note.

plutôt que wikipedia cite
Dannhauser ou autre ref
F.M. ou encore Gould 2011
Behind Bars

636

637

638

639

barre verticale liée à la tête
de note

640

641

haut ou bas

642

643

644

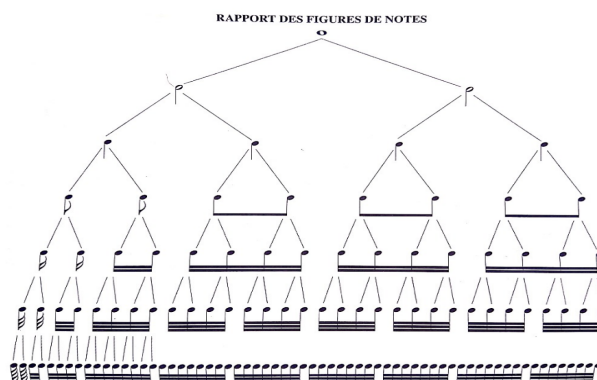


FIGURE 3.2 – Rapport des figures de notes

[1]

645 La figure 3.2 montre les rapports de durée entre les figures de notes. Plus
646 les durées sont longues, plus elles sont marquées par la tête de note (la
647 note carrée fait deux fois la durée d'une ronde) ou la présence ou non de
648 la hampe. À partir de la noire (3ème lignes en partant du haut), on ajoute
649 un crochet à la hampe d'une figure de notes pour diviser sa durée par 2.
650 Les notes à crochet (croche, double-croche, triple-croche...) peuvent être
651 reliées ou non par des ligatures (voir les 4 dernières lignes de la figure
3.2).

ce premier paragraphe (j'ai
qu'ici) est redondant avec
§1.4 (sub. partitions). dé-
placer en 1.4? cf. proposi-
tion plus loin

652

653

Les hauteurs et les têtes de notes

654 Pour la transcription, nous proposons une notation inspirée du recueil de
655 pièces pour batterie de J.-F. Juskowiak [23] et des méthodes de batterie
656 Agostini [24], car nous trouvons la position des éléments cohérente et in-
tuitive.

pour aider, tu pourrais dé-
finir une figure représentant
la batterie avec le nom des
instruments et abbrévia-
tion.

658

659

2. https://fr.wikipedia.org/wiki/Note_de_musique

659 En effet, les hauteurs sur la portée représentent :

660 — La hauteur physique des instruments :

661 La caisse claire est centrale sur la portée et sur la batterie (au
662 niveau de la ceinture, elle conditionne l'écart entre les pédales et
663 aussi la position de tous les instruments basiques d'une batterie).
664 Tout ce qui en-dessous de la caisse-claire sur la portée est en
665 dessous de la caisse-claire sur la batterie (pédales, tom basse);
666 Tout ce qui est au-dessus de la caisse-claire sur la portée, l'est
667 aussi sur la batterie.

668 — La hauteur des instruments en terme de fréquences :

669 Sauf pour le charley au pied et si l'on sépare en trois groupes
670 (grosse-caisse, toms et cymbales), de bas en haut, les instruments
671 vont du plus grave au plus aigu.
672

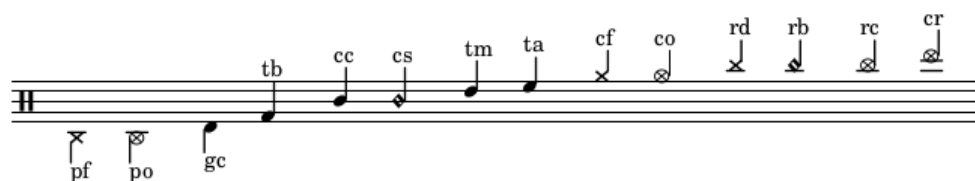


FIGURE 3.3 – Hauteur et têtes de notes

673 Les noms des instruments correspondant aux codes des notes de la figure
674 3.3 sont dans le tableau 3.1.

têtes de notes?

675 Les durées

676 Comme nous venons de la voir, la majorité des instruments de la batterie
677 sont représentés par les têtes des notes. Par conséquent, les symboles
678 rythmiques concernant la tête de note ne pourront pas être utilisés. Cela
679 est valable aussi pour la présence ou non de la hampe puisque ce phé-
680 nomène n'existe qu'avec les têtes de notes de type cercle-vide (opposition
681 blanche-ronde). L'usage des blanches existe dans certaines partitions de
682 batterie [25] mais cela reste dans des cas très rares. Certains logiciels per-
683 mettent de faire des blanches avec des symboles spécifiques à la batterie
684 ou aux percussions mais leur lecture reste peu aisée et leur utilisation
685 pour la batterie est rarissime.

686 La durée d'une note peut être prolongée par divers symboles :

- 687 — Le point;
- 688 — La liaison.

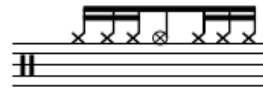
689 Ces symboles ne seront utiles que pour l'écriture des ouvertures de char-
690 ley. Le charley est le seul instrument de la batterie dont la durée est quan-

certaines têtes de notes vides alors que leur durée n'est pas celle des blanches?

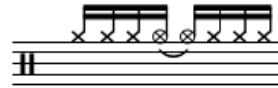
pour clarifier cela, tu pourrais décrire en 1.4 la notation conventionnelles (piano etc) et ici uniquement ce qui est spécifique à la batterie, en expliquant les différences.

expliquer comment, par ex. avec figure 3.4

691 tifiée (les cymbales attrapées à la main peuvent l'être aussi mais cela est
692 très rare.)



Exemple 1



Exemple 2



Exemple 3



Exemple 4

FIGURE 3.4 – Point et liaison

= la position des temps 693

694

faire un "enumerate" 696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

L'écriture de la batterie doit faire ressortir la pulsation. La première chose à prendre en compte pour analyser la figure 3.4 est donc la nécessité de regrouper les notes par temps à l'aide des ligatures.

Exemple 1 : ouverture de charley quantifiée mais pas notes pas regroupées par temps.

Exemple 2 : Ici, la liaison permet de regrouper les notes par temps en obtenant le même rythme que dans l'exemple 1.

Exemple 3 et exemple 4 : les deux exemples sont valables mais le deuxième est le plus souvent utilisé car plus intuitif (regroupement par temps).

En cas de nécessité de prolonger la durée d'une note au-delà de sa durée initial, et si cette note correspond à une ouverture de charley, on privilégiera la liaison.

707

Les silences

expliquer la notation (générale) des silences en §1.4.2 708

709

quantifier = noter? ou quantifier la durée? 710

711

712

Les silences sont parfois utilisés pour quantifier les ouvertures de charley. Les fermetures du charley sont notées soit par un silence (correspondant à une fermeture de la pédale), soit par un écrasement de l'ouverture par un autre coup de charley fermé, au pied ou à la main.

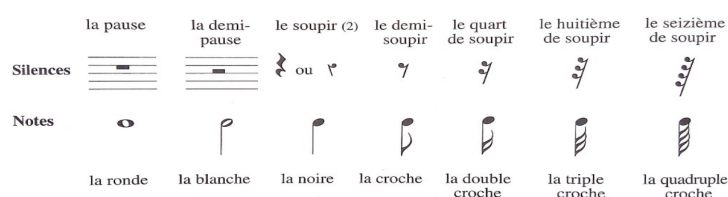


FIGURE 3.5 – Les silences

713 Physiquement, le charley est fermé par une pression du pied sur la pé-
 714 dale de charley. Dans les fichiers MIDI, cette pression est traduite par
 715 un charley joué au pied. Mais dans une vraie partition, cette écriture ne
 716 traduirait pas ce que le batteur doit penser.

pas très clair

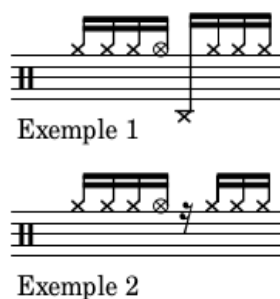


FIGURE 3.6 – Silence joué

717 L'exemple 1 de la figure 3.6 montre ce qui est écrit dans les données MIDI
 718 et l'exemple 2 montre ce que le batteur doit penser en lisant la parti-
 719 tion. Il faut aussi prendre en compte l'écriture surchargée que l'exemple 1
 720 donnerait avec une partition comprenant plusieurs voix et plusieurs ins-
 721 truments jouant simultanément.
 722 Lorsqu'une note est un charley ouvert, il faudra donc prendre en compte
 723 la note suivante pour l'écriture : - Si c'est un charley fermé joué à la main
 724 ⇒ la note sera cf;
 725 - Si c'est un charley fermé joué au pied ⇒ la note sera un silence.

itemize

cf?

726 Les équivalences rythmiques

727 Pour les instruments mélodiques, la liaison et le point sont les deux seules
 728 possibilités en cas d'équivalence rythmique pour des notes dont la durée
 729 de l'une à l'autre est ininterrompue. Mais pour la batterie, à part dans
 730 le cas des ouvertures de charley (voir section 3.1), les durées des notes
 731 n'ont pas d'importance. L'usage des silences pour combler la distance ryth-
 732 mique entre deux notes devient donc possible.
 733 Cela pris en compte, et étant donné que les indications de durée dans les
 734 têtes de notes sont peu recommandées (voir section 3.1), l'écriture à l'aide

phrase alambiquée... pour prolonger la durée?

seuls comptent les date de début de notes *onsets*.

de silences sera privilégiée comme indication de durée sauf dans les cas où cela reste impossible. Ce choix a pour but de n'avoir qu'une manière d'écrire toutes les notes, que leurs têtes de notes soit modifiées ou non.



FIGURE 3.7 – Équivalence

Sur la figure 3.7, théoriquement, il faudra choisir la notation de la deuxième mesure mais dans certains contextes, pour des raisons de lisibilité ou de surcharge, la version sans les silences de la troisième mesure pourra être choisie.

Les voix

Les voix³ désignent les différentes parties mélodiques constituant une composition musicale et destinées à être interprétées, simultanément ou successivement, par un ou plusieurs musiciens. En batterie, une voix est l'ensemble des instruments qui, à eux seuls, constituent une phrase rythmique et sont regroupés à l'aide des ligatures. Plusieurs écritures étant possibles pour un même rythme, on peut regrouper les instruments de la batterie par voix. Sur une portée de batterie, il existe le plus souvent 1 ou 2 voix. Sur la figure 3.8, il faudra faire un choix entre les exemples 1, 2 et 3 qui sont trois façons d'écrire le même rythme.

Ce choix se fera en fonction des instruments joués, de la nature plus ou moins systématique de leurs phrasés, et des associations logiques entre les instruments dans la distribution des rythmes sur la batterie (voir la section 3.4).

Pour les instruments mélodiques, un groupe de notes peut être organisé en voix, représentant des flots mélodiques joués en parallèle, avec une synchronisation plus ou moins stricte.

voix : citations possibles - "Joint Estimation of Note Values and Voices for Audio-to-Score Piano Transcription" Nakamura et al 2021 ou une des références de ce papier, par ex. [15] ou [16]. - ou thèse de Nicolas Guiomard-Kagan

une voix est caractérisée aussi pas orientation des hampes?

Les accentuations et les ghost-notes

« Certaines notes dans une phrase musicale doivent, ainsi que les différentes syllabes d'un mot, être accentuées avec plus ou moins de force, porter une inflexion particulière. » [1]

La figure 3.9 ne prend en compte que les accents que nous avons estimés nécessaires (voir la section 3.2). Les accents sont marqués par le symbole « > ». Il est positionné au-dessus des notes représentant des cymbales et en-dessous des notes représentant des toms ou la caisse-claire. Ce choix a été fait pour la partition de la figure 4.2 car elle est plus lisible

3.9 = liste des seuls "instruments" qui peuvent être accentués?

3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Voix_\(polyphonie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Voix_(polyphonie))



FIGURE 3.8 – Séparation des voix

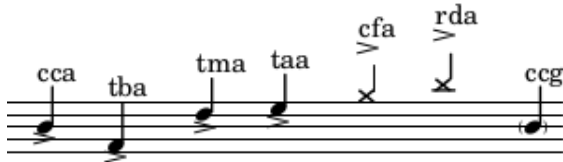


FIGURE 3.9 – Les accents et les ghost-notes

765 ainsi, mais ces choix devront être adaptés en fonction des différents sys-
 766 tèmes reconnus (voir la section 3.4). Par exemple, pour les systèmes jazz,
 767 les ligatures pour les toms et la caisse-claire seront dirigés vers le bas, il
 768 faudra donc mettre les symboles d'accentuation correspondants au-dessus
 769 des têtes de notes.

770 La dernière note de la figure 3.9 montre un exemple de ghost-notes. Le
 771 parenthésage a été choisi car il peut être utilisé sur n'importe quelle note
 772 sans changer la tête de note.

773 Pour les codes, on prend le code de la note et on ajoute un « a » pour un
 774 accent et un « g » pour une ghost-note. Toutes les notes de la figure 3.9
 sont exposées en situation réelle dans la figure 3.10.

expliquer ce qu'est une ghost-notes

les codes de notes n'ont pas encore été présentés...



FIGURE 3.10 – Exemple pour les accentuations et les ghost-notes

3.2 Modélisation pour la transcription

Les pitches

Codes	Instruments	Pitches
cf	charley-main-fermé	22, 42
co	charley-main-ouvert	26
pf	charley-pied-fermé	44
rd	ride	51
rb	ride-cloche (bell)	53
rc	ride-crash	59
cr	crash	55
cc	caisse-claire	38, 40
cs	cross-stick	37
ta	tom-alto	48, 50
tm	tom-medium	45, 47
tb	tom-basse	43, 58
gc	grosse-caisse	36

TABLE 3.1 – Pitches et instruments

Il existe, pour de nombreux instruments de la batterie, plusieurs samples audio associés à des pitches. Pour cette première version, nous avons choisi de n'avoir qu'un code-instrument pour différentes variantes d'un instrument, c'est pourquoi certain code-instrument se voit attribuer plusieurs pitches dans le tableau 3.1.

Malgré le large panel de pitches disponible, il semblerait qu'aucun pitch ne désigne le charley ouvert joué au pied. Pourtant, dans la batterie moderne, plusieurs rythmes ne peuvent fournir le son du charley ouvert qu'avec le pied car les mains ne sont pas disponibles pour le jouer. Cela doit en partie être dû à l'utilisation des boîte à rythmes en MAO qui ne nécessitent pas de faire des choix conditionnés par les limitations humaines (2 pieds, 2 mains, et beaucoup plus d'instruments. . .)

La vélocité

La partition de la figure 4.2 a été transcrite manuellement avec lilypond par analyse des fichiers MIDI et audio correspondants.

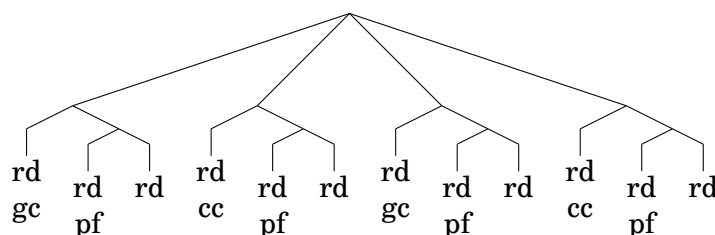
Cette transcription nous a mené aux observations suivantes :

- Vélocité inférieure à 40 : ghost-note ;
- Vélocité supérieure à 90 : accent ;
- Pas d'intention d'accent ni de ghost-note pour une vélocité entre 40 et 89 ;

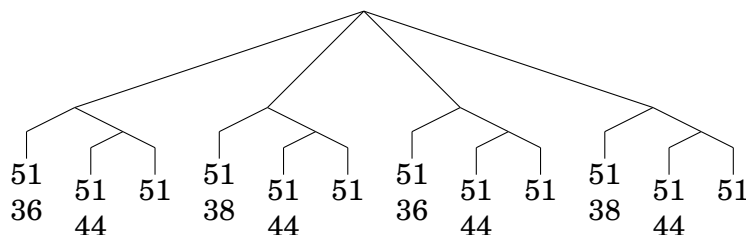
- Les accents et les ghosts-notes ne sont significatifs ni pour les instruments joués au pied, ni pour les cymbales crash.
- En effet, certaines vélocités en dessous de 40 étant détectées et inscrites dans les données MIDI sont dues au mouvement du talon du batteur qui bat la pulsation sans particulièrement jouer le charley. Ce mouvement est perçu par le capteur de la batterie électronique mais le charley n'est pas joué.
- Au final, nous avons relevé les ghost-notes et les accents pour la caisse-claire ainsi que les accents pour les toms et les cymbales rythmiques (charley et ride).

808 Les arbres de rythmes

- Les arbres de rythmes représentent un rythme unique dont les possibilités de notation sur une partition sont théoriquement multiples.
- Voici une représentation de la figure 3.8 en arbre de rythmes avec les codes de chaque instrument :



- Ci-dessous, le même arbre dont les codes des instruments sont remplacés par leurs données MIDI respectives :



- Chacun des trois exemples de la figure 3.8 est représenté par un des deux arbres syntaxiques ci-dessus.

817 3.3 Qparse

- La librairie Qparse⁴ implémente la quantification des rythmes basée sur des algorithmes d'analyse syntaxique pour les automates arbores-

4. <https://qparse.gitlabpages.inria.fr>

non c'est juste une représentation du rythme, pas unique

expliquer le principe des RT : branchement = division d'intervalle temporel, feuilles = les événements musicaux commençant au début de l'intervalle). références : - Laurson "Patchwork : A Visual Programming Language", 1996. - OpenMusic : visual programming environment for music composition, analysis and research, 2011.

Fig. 3.8, ex. 1, 2 ou 3 ?

choisir titre plus explicite, par ex. analyse syntaxique pour la transcription musicale

quantification rythmique + structuration de partition

qparse est un outil pour la transcription musicale, qui, à partir d'une performance symbolique, séquentielle et non quantifiée, produit une partition structurée.

Il effectue conjointement des tâches de quantification rythmique et d'inférence de la structure de la partition à l'aide de techniques de parsing / analyse

grammaire \neq automate. 823
il faut choisir entre les 2 824
(pour la suite aussi)

apprentissage 828

cents pondérés. En prenant en entrée une performance musicale symbolique (séquence de notes avec dates et durées en temps réel, typiquement un fichier MIDI), et une grammaire hors-contexte pondérée décrivant un langage de rythmes préférés, il produit une partition musicale. Plusieurs formats de sortie sont possibles, dont XML, MEI.

Les principaux contributeurs sont :

- Florent Jacquemard (Inria) : développeur principal.
- Francesco Foscari (PhD, CNAM) : construction de grammaire automatique à partir de corpus ; Evaluation.
- Clement Poncelet (Salzburg U.) : integration de la librairie Midifile pour les input MIDI.
- Philippe Rigaux (CNAM) : production de partition au format MEI et de modèle intermédiaire de partition en sortie.
- Masahiko Sakai (Nagoya U.) : mesure de la distance input/output pour la quantification et CMake framework ; évaluation.

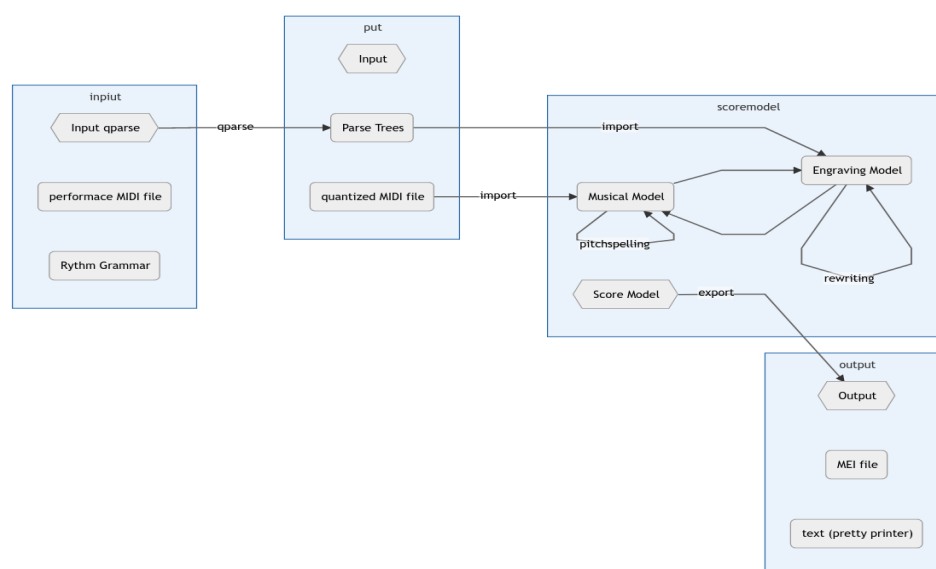


FIGURE 3.11 – Présentation de Qparse

la figure 3.11 est trop complexe. 836
rhythm grammar → automate d'arbres pondérés. 837
Parse Tree → arbre syntaxique. qtz MIDI file : inutile. 838
Score Model → représentation intermédiaire de partition. 839
Score Model → Engr. Model : inutile. garder juste la fleche Rewriting sur S.M. 840
841
842

Explication des différentes étapes de la figure 3.11⁵ :

- **Input Qparse** :
Un fichier MIDI (séquence d'événements datés (piano roll) accompagné d'un fichier contenant une grammaire pondérée) ;
- **Arbre de parsing** :
Les données MIDI sont quantifiées, les notes de dates proches sont

5. <https://gitlab.inria.fr/qparse/qparselib/-/tree/distance/src/scoremodel>

- alignées et les relations entre les notes sont identifiées (accords, fla, etc...); un arbre de parsing global est créé;
- **Score Model** :
 - Les instruments sont identifiés dans `scoremodel/import/tableImporterDrum.cpp`;
 - Réécriture 1 :
 - séparation des voix \Rightarrow un arbre par voix \Rightarrow représentation intermédiaire (RI);
 - Réécriture 2 :
 - simplification de l'écriture de chaque voix dans la RI;
 - **Output** :
 - export de la partition. Plusieurs formats sont possibles (xml, mei, lilypond,...).
- Plusieurs enjeux :
- Problème du MIDI avec Qparse :
 - ON-OFF en entrée \Rightarrow 1 seul symbole en sortie.
 - Minimiser la distance entre le midi et la représentation en arbre.
 - Un des problèmes de Qparse était qu'il était limité au monophonique.
 - Quelles sont les limites du monophonique?
 - Impossibilité de traiter plusieurs voix et de reconnaître les accords.

3.4 Les systèmes

Un système est la combinaison d'un ou de plusieurs éléments qui jouent un rythme en boucle (motif) et d'un autre élément qui joue un texte rythmique variable mais en respectant les règles propres au système (gamme).

Définitions

Système : motif + gamme/texte

Motif : rythmes coordonnés joués avec 2 ou 3 membres en boucle (répartis sur 1 ou 2 voix)

Texte : rythme irrégulier joué avec un seul membre sur le motif (réparti sur 1 voix).

Gamme : la gamme d'un système considère l'ensemble des combinaisons que le batteur pourrait rencontrer en interprétant un texte rythmique à l'aide du système.

Un ensemble de systèmes comprenant leur métrique et leurs règles spécifiques de réécriture sera nécessaire. Les systèmes devront être distribués

il faudrait expliquer là que le but est d'avoir des schémas types (= système) pour calculer la séparation en voix. = une heuristique pour éviter d'avoir à explorer une grande combinatoire. et que, une fois le système déterminé (ou sélectionné), la séparation se fait par réécriture du modèle (règles de projection et simplification)

je ne comprend pas bien la définition de système : motif + gamme ou motif + gamme + texte? la déf. des gammes n'est pas du tout claire.

est-ce que le motif est fixe et les gammes variables? est-ce le motif qui détermine la métrique et les voix?

métrique n'est pas défini. règles de réécriture non plus

Systèmes	Métriques	Subdivisions	Possibles	nb voix
binaires	simple	doubles-croches	triolet, sextolet	2
jazz	simple	triolet	croches et doubles-croches	2
ternaires	complexe	croches	duolet, quartelet	2
afros-cubains	simple	croches	-	3

TABLE 3.2 – Systèmes

885 dans 4 grandes catégories :

886 Nous exposerons 3 systèmes afin d'illustrer les propos de cette section :

887 — 4/4 binaire

888 — 4/4 jazz

889 — 4/4 afro-cubain

890 Objectif des systèmes

891 Les systèmes devront être matchés sur l'input MIDI afin de :

892 — définir une métrique ;

893 — choisir une grammaire appropriée ;

894 — fournir les règles de réécriture (séparation des voix et simplification.
895

bien. il faudrait expliquer
ça avant.

897 La partie *motif* des systèmes sera utilisée pour la **définition des mé-**
898 **triques**. Le *motif* et la gammes des systèmes seront utilisés pour la **sé-**
899 **paration des voix**. Les règles de **simplification** (les combinaisons de
900 **réécritures**) seront extraites des voix séparées des systèmes.

901 pas exactement. les règles
de projection et simplifica-
tion font la séparation en
voix : à partir d'un arbre
syntactique comme celui de
3.2, elles extraient 2 arbres,
chacun contenant les éve-
nements d'une seule voix
904

905 métrique ≠ signature ryth-
mique (c'est plus général).
Il aurait fallu présenter
906 pidiement la notation des
signatures rythmiques, par
exemple en 1.4

902 Détection d'indication de mesure

903 La détection de la métrique est importante, non seulement pour connaître
le nombre de temps par mesure ainsi que le nombre de subdivisions pour
chacun de ces temps, mais aussi pour savoir comment écrire l'unité de
temps et ses subdivisions.



Exemple 1



Exemple 2

FIGURE 3.12 – Métrique

La figure 3.12 montre deux indications de mesure différentes. L'une (exemple 1) est *simple* (2 temps binaires sur lesquels sont joués des triolets), l'autre (exemple 2) est *complexe* (2 temps ternaires). Le jazz est traditionnellement écrit en binaire avec ou sans triolet (même si cette musique est dite ternaire alors que le rock ternaire sera plutôt écrit comme dans l'exemple 2).

Choix d'une grammaire

Il faut prendre en compte l'existence potentielle de plusieurs grammaires dédiées chacune à un type de contenu MIDI. Le choix d'une grammaire pondérée doit être fait avant le parsing puisque Qparse prend en entrée un fichier MIDI et un fichier wta (grammaire). C'est pour cette raison que la métrique doit être définie avant le choix de la grammaire.

Pour les expériences effectuées avec le Groove MIDI Data Set, le style et l'indication de mesure sont récupérables par les noms des fichiers MIDI, mais il faudra par la suite les trouver automatiquement sans autres indications que les données MIDI elles-mêmes. Par conséquent, les motifs des systèmes devront être recherchés sur l'input (*fichiers MIDI*) avant le lancement du parsing, afin de déterminer la métrique en amont. Cette tâche devra probablement être effectuée en Machine Learning.

le lien entre grammaire et signature rythmique n'est pas clair ici. Il aurait fallu expliquer le rôle des grammaires (automates) en 3.3

Groove MIDI Data Set pas présenté

méta-données

contenu

Séparation des voix

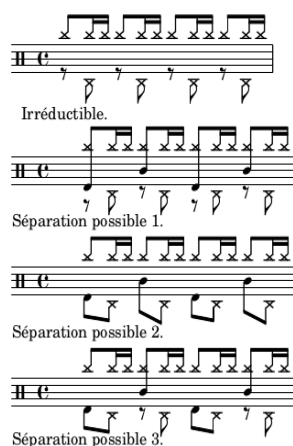


FIGURE 3.13 – Motif 4-4 binaire

Ici, le système est construit sur un modèle rock en 4/4 : after-beat sur les 2 et 4 avec un choix de répartition des cymbales type fast-jazz. Le système est constitué par défaut du motif rd/pf/cc (voir 3.1) et d'un texte joué à la grosse-caisse. La première ligne de la figure 3.13 est appelée « Irréductible

les description ic sont assez techniques et difficile à suivre. avant de détailler des exemples, il faudrait décrire les objectifs et le principe de la procédure.

932 » car il n'y a pas d'autre choix pertinent pour la répartition de la ride et du
 933 charley au pied. La troisième séparation proposée est privilégiée car elle
 934 répartit selon 2 voix, une voix pour les mains (rd + cc) et une voix pour les
 935 pieds (pf + gc). Ce choix paraît plus équilibré car deux instruments sont
 936 utilisés par voix et plus logique pour le lecteur puisque les mains sont en
 haut et les pieds en bas.

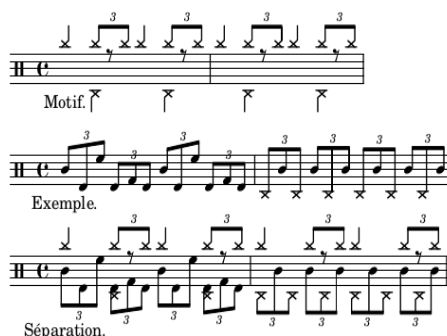


FIGURE 3.14 – Motif 4-4 jazz

937 Dans la plupart des méthodes, le charley n'est pas écrit car il est considéré
 938 comme évident en jazz traditionnel. Ce qui facilite grandement l'écriture :
 939 la ride et les crash sur la voix du haut et le reste sur la voix du bas. Ici,
 940 le parti pris est de tout écrire. Dans l'exemple ci-dessus, les mesures 1 et
 942 2 combinées avec le *motif* de la première ligne, sont des cas typiques de
 943 la batterie jazz. Tout mettre sur la voix haute serait surchargé. De plus,
 944 la grosse caisse entre très souvent dans le flot des combinaisons de toms
 945 et de caisse claire et son écriture séparée serait inutilement compliquée
 946 et peu intuitive pour le lecteur. Le choix de séparation sera donc de lais-
 947 ser les cymbales en haut et toms, caisse-claire, grosse-caisse et pédale de
 948 charley en bas.

quel exemple?



FIGURE 3.15 – Système 4-4 afro-latin

949 La figure 3.15 montre un exemple minimaliste de système afro-latin [25].
 950 Ce système doit être écrit sur trois voix car la voix centrale est souvent
 951 plus complexe qu'ici (que des noirs) et la mélanger avec le haut ou le bas
 952 serait surchargé et peu lisible.

Simplification de l'écriture

Les explications qui suivent seront appuyé par une expérimentation théorique dans la section 4.3.

Les gammes qui accompagnent les motifs d'un système étayent toutes les combinaisons d'un système et elles permettent, combinées avec le motif d'un système, de définir les règles de simplification propres à celui-ci.

Voici les différentes étapes à suivre :

- Pour chaque gamme du système, faire un arbre de rythme représentant la gamme combinée avec le motif du système ;
- Pour chaque arbre de rythmes obtenus, séparer les voix et faire un arbre de rythme par voix ;
- Pour chaque voix (arbre de rythmes) obtenus, extraire tous les nœuds qui nécessitent une simplification et écrire la règle.

Certaines précisions concernant l'extraction de ces règles sont nécessaires. Il s'agit de précisions à propos de la durée, des silences et de la présence ou non d'ouverture de charley dans les instruments joués. Nous avons discuté de ces problèmes dans le chapitre 3.

Voici quelques règles inhérentes à la simplification de l'écriture pour la batterie : Toutes les continuations (t) qui se trouvent en début de temps (figures 4.9, 4.11 et 4.12) sont transformées en silences (r) sauf si la note précédente est un charley ouvert ?

Même si on favorise l'usage des silences pour l'écart entre les notes n'appartenant pas au même temps, on les supprime systématiquement pour 2 notes au sein d'un même temps et favorise, une liaison si co, un point si pas co et nécessaire, un simple ajustement de la figure de note si suffisant.

expérimentation théorique??

ce sont des figures et notations du chapitre suivant!

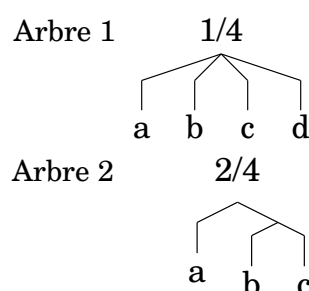


FIGURE 3.16 – Simplification

Soit l'arbre 1 de la figure 3.16 dans lequel : a et d sont des instruments de la batterie (x) ;

b et c sont des continuations (t) ;

Pour chacune des conditions suivantes, une suite de la figure 3.17 est attribuée :

- Si a n'est pas un co :

⇒ Suite 1a.

itemize

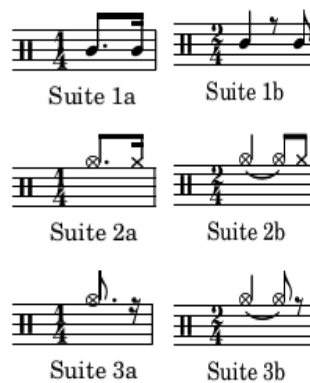


FIGURE 3.17

985 — Si a est un co :
 986 — Si d est un cf :
 987 ⇒ Suite 2a.
 988 — Si d est un pf :
 989 ⇒ Suite 3a : d deviens un silence (r).
 990

991 Soit l'arbre 2 de la figure 3.16 dans lequel :
 992 a et c sont des instruments de la batterie (x);
 993 b est une continuation (t); Pour chacune des conditions suivantes, une
 994 suite de la figure 3.17 est attribuée :

995 — Si a n'est pas un co :
 996 ⇒ Suite 1b, b devient un silence.
 997 — Si a est un co :
 998 — Si c est un cf :
 999 ⇒ Suite 2b, b devient une liaison et c devient un cf.
 1000 — Si c est un pf :
 1001 ⇒ Suite 3b : b deviens une liaison et c devient un silence.
 1002

1003 *Rappel :*
 1004 *cf = charley fermé joué à la main ;*
 1005 *co = charley ouvert joué à la main ;*
 1006 *pf = charley fermé joué au pied.*
 1007

1008 **Problème : le cf et le co ne seront jamais sur la même voix que le**
 1009 **pf... Par conséquent, les règles concernant les charleys ouverts**
 1010 **doivent-elles être appliquées sur l'arbre de parsing de l'input?...**

1011 **Conclusion**

1012 Nous avons formalisé une notation de la batterie, modélisé cette notation
1013 pour la transcription de données MIDI en partition, nous avons décrit
1014 Qparse.

1015 Enfin, nous avons exposé une approche de type dictionnaire (les « sys-
1016 tèmes ») pour détecter une métrique, choisir une grammaire pondérée ap-
1017 propriée et énoncer des règles de séparation des voix et de simplification
1018 de l'écriture.

1019

1020

EXPÉRIMENTATIONS

1021

Sommaire

1022	4.1	Le jeu de données	45
1023	4.2	Analyse MIDI-Audio	47
1024	4.3	Expérimentation théorique d'un système	51
1025	4.4	Résultats et discussion	55
1026			
1027			
1028			
1029			

1030

Introduction

1031 Dans ce chapitre, nous présenterons le jeu de données et les analyses
 1032 audio-MIDI. Nous ferons ensuite l'expérimentation théorique d'un sys-
 1033 *tème* implémentable qui devra être utilisé comme base de connaissances
 1034 pour augmenter la rapidité et la qualité en sortie de Qparse. Nous pré-
 1035 senterons ensuite les avancées réalisées dans ce travail et une réflexion
 1036 sur les moyens de l'évaluer. Enfin, nous finirons par une discussion sur
 1037 l'ensemble du travail réalisé.

1038

4.1 Le jeu de données

1039 Nous avons utilisé le Groove MIDI Dataset¹ [26] (GMD) qui est un jeu de
 1040 données mis à disposition par Google sous la licence Creative Commons
 1041 Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

1042 Le GMD est composé de 13,6 heures de batterie sous forme de fichiers
 1043 MIDI et audio alignés. Il contient 1150 fichiers MIDI et plus de 22 000
 1044 mesures de batterie dans les styles les plus courants et avec différentes
 1045 qualités de jeu. Tout le contenu a été joué par des humains sur la batterie
 1046 électronique Roland TD-11 (figure 4.1).

1. <https://magenta.tensorflow.org/datasets/groove>



FIGURE 4.1 – Batterie électronique

Source : https://www.youtube.com/watch?v=BX1V_IE0g2c

1047 Autres critères spécifiques au GMD :

- 1048 — Toutes les performances ont été jouées au métronome et à un tempo
- 1049 choisi par le batteur.
- 1050 — 80% de la durée du GMD a été joué par des batteurs professionnels
- 1051 qui ont pu improviser dans un large éventail de styles. Les don-
- 1052 nées sont donc diversifiées en termes de styles et de qualités de jeu
- 1053 (professionnel ou amateur).
- 1054 — Les batteurs avaient pour instruction de jouer des séquences de
- 1055 plusieurs minutes ainsi que des fills²
- 1056 — Chaque performance est annotée d'un style (fourni par le batteur),
- 1057 d'une métrique et d'un tempo ainsi que d'une identification ano-
- 1058 nyme du batteur.
- 1059 — Il a été demandé à 4 batteurs d'enregistrer le même groupe de 10
- 1060 rythmes dans leurs styles respectifs. Ils sont dans les dossiers eval-
- 1061 session du GMD.
- 1062 — Les sorties audio synthétisées ont été alignées à 2 ms près sur leur
- 1063 fichier MIDI.

1064 **Format des données**

enregistre les données dans
des fichiers MIDI

1065 Le Roland TD-11 divise les données enregistrées en plusieurs pistes dis-
1066 tinctes :

- 1067 — une pour le tempo et l'indication de mesure ;
- 1068 — une pour les changements de contrôle (position de la pédale de
- 1069 charley) ;
- 1070 — une pour les notes.

1071

1072 Les changements de contrôle sont placés sur le canal 0 et les notes sur le
1073 canal 9 (qui est le canal canonique pour la batterie).

1074 Pour simplifier le traitement de ces données, ces trois pistes ont été
1075 fusionnées en une seule piste qui a été mise sur le canal 9.

2. Un *fill* est une séquence de relance dont la durée dépasse rarement 2 mesures. Il est souvent joué à la fin d'un cycle pour annoncer le suivant.

1076
 1077 « Control Changes The TD-11 also records control changes speci-
 1078 fying the position of the hi-hat pedal on each hit. We have preserved this
 1079 information under control 4. »
 1080 (<https://magenta.tensorflow.org/datasets/groove>)
 1081 ⇒ ??? Je ne comprends pas encore comment trouver ce type d'informa-
 1082 tions dans les fichiers MIDI.
 1083 L'utilisation de pretty_midi devient urgente!

1084 4.2 Analyse MIDI-Audio

1085
 1086 Ces analyses ont été faites dans le cadre de transcriptions manuelles à
 1087 partir de fichiers MIDI et Audio du GMD.

= analyses et transcriptions
manuelles

1088 Comparaisons de transcriptions

1089 Pour les comparaisons de transcriptions, les transcriptions manuelles
 1090 (TM) ont été éditées à l'aide de Lilypond³ ou MuseScore⁴ et les trans-
 1091 criptions automatiques (TA) ont toutes été générées manuellement avec
 1092 MuseScore.

méthodologie tr. manuelle.
import MIDI pour MuseS-
core

1093 Exemple d'analyse 1

Transcription manuelle ⇒ Transcription automatique



- 1094 — Erreur d'indication de mesure (3/4 au lieu de 4/4);
- 1095 — Les silences de la mesure 1 de la TA sont inutilement surchargés;
- 1096 — La noire du temps 4 de la mesure 1 de la TM est devenue les deux
- 1097 premières notes (une double-croche et une croche) d'un triolet sur
- 1098 le temps 1 de la mesure 2 de la TA.

1099 Exemple d'analyse 2

- 1100 — Les doubles croches ont été interprétées en quintolet
- 1101 — La deuxième double-croche est devenue une croche.

Transcription manuelle \Rightarrow Transcription automatique



Transcription manuelle \Rightarrow Transcription automatique



1102 Exemple d'analyse 3

- 1103 — Les grosses-caisses, les charleys et les caisses-claires ont été décalés d'un temps vers la droite.
- 1104
- 1105 — Les toms basses des temps 1 et 2 de la mesure 2 de la TM ont été décalés d'une double croche vers la droite dans la TA.
- 1106
- 1107 — La première caisse-claire de la mesure 1 devient binaire dans la TA alors qu'elle appartenait à un triolet dans la TM.
- 1108
- 1109 — Le triolet de tom-basse du temps 4 de la mesure 2 de la TA n'existe pas la TM.
- 1110
- 1111

1112 Exemple d'analyse 4

Transcription manuelle \Rightarrow Transcription automatique



1113

- 1114 Sur le temps 4 de la mesure 1, la deuxième croche a été transcrite d'une manière excessivement complexe!

conclusion sur ces exemples

1116 Exemple avec des flas

sauf erreur, les "flas" ne sont pas définis. \rightarrow sections 1.4 (appogiatures) et 3.1 (flas)?

- 3. <http://lilypond.org/>
- 4. <https://musescore.com/>

1118 Transcription manuelle



1119

1120 Transcription automatique

1121



1122

1123

- 1124 — Le premier fla est reconnu comme étant un triolet contenant une
- 1125 quadruple croche suivie d'une triple croche au lieu d'une seule note
- 1126 ornementée.
- 1127 — Le deuxième fla est reconnu comme étant un accord.
- 1128 — Les deux double en l'air sur le temps 4 de la TM sont mal quantifiée
- 1129 dans la TA.
- 1130 — La TA ne reconnaît qu'une mesure quand la TM en transcrit deux.
- 1131 En effet, la TA a divisé par deux la durée des notes afin de les faire
- 1132 tenir dans une mesure à 4 temps dont les unités de temps sont
- 1133 les noires. Par exemple, le soupir du temps 2 de la TM devient un
- 1134 demi-soupir sur le contre-temps du temps 1 dans la TA. Ou encore,
- 1135 la noire (pf, voir le tableau 3.1) sur le temps 1 de la mesure 2 de
- 1136 la TM suivie d'un demi-soupir devient une croche pointée sur le
- 1137 temps 3 de la TA.
- 1138 — Autre problème : certaines têtes de notes sont mal attribuées. Par
- 1139 exemple, le charley ouvert en l'air sur le temps 2 de la mesure 2
- 1140 de la TM devrait avoir le même symbole sur la TA. Idem pour les
- 1141 cross-sticks.

1142 **Transcription de partition**

FIGURE 4.2 – Partition de référence

1143 La figure 4.2 est la transcription manuelle des fichiers *004_jazz-*
 1144 *funk_116_beat_4-4.mid* et *004_jazz-funk_116_beat_4-4.wav* du GMD.

1145 Cette transcription a été entièrement faite avec Lilypond (voir le code
 1146 lilypond sur le git [https://github.com/MartinDigard/Stage_M2_](https://github.com/MartinDigard/Stage_M2_Inria)
 1147 *Inria*) Il s'agit d'une partition d'un 4/4 binaire dont le fichier MIDI est
 1148 annoncé dans le GMD de style «jazz-funk» probablement en raison de
 1149 la ride de type shabada rapide (le ternaire devient binaire avec la vi-
 1150 tesse) combiné avec l'after-beat de type rock (caisse-claire sur les deux
 1151 et quatre).

1152 La transcription des données audio et MIDI contenues dans ces fichiers
 1153 a permis une analyse plus approfondie des critères à relever pour chaque
 1154 évènement MIDI et de la manière de les considérer dans un objectif de
 transcription en partition lisible pour un musicien (Voir la section 3.2).

des conclusions sur la 1156
 transcription manuelle?
 difficultés, durée? nb de
 passes... pourquoi LilyPon-
 det pas MuseScore?

4.3 Expérimentation théorique d'un système

Cette expérimentation théorique, basée sur la partition de référence de la figure 4.2, montre le procédé de création d'un *système* et des règles qui en découlent (métrique, choix de grammaire, règles de séparation des voix et de simplification de l'écriture). Le *système* devra ensuite être implémenté pour appliquer des tests qui seront effectués, dans un premier temps, sur la partition de référence.

Le titre est contradictoire, et l'explication pas très claire

Motifs et gammes



FIGURE 4.3 – Motifs et gammes

Motifs

À partir de la partition de référence, les deux motifs de la figure 4.3 peuvent être systématisés. Le motif 1 est joué du début jusqu'à la mesure 18 avec des variations et des fills et le motif 2 est joué de la mesures 23 à la mesure 28 avec des variations. Ces deux motifs sont très classiques et pourront être détectés dans de nombreuses performances.

Gammes

Les gammes de la figure 4.3 étayent toutes les combinaisons d'un motif en 4/4 binaires jusqu'aux doubles croches.

Les lignes 1 et 2 traitent les croches. La ligne 1 a 2 mesures dont la première ne contient que des noires et la deuxième que des croches en l'air. Ces deux possibilités sont combinées de manière circulaire dans les 3 mesures de la deuxième ligne.

Les lignes 3, 4 et 5 traitent les doubles-croches. La ligne 3 a 2 mesures

1181 dont la première ne contient que des croches et la deuxième que des
 1182 doubles-croches en l'air. Ces deux possibilités sont combinées de manière
 1183 circulaire dans les lignes 4 et 5 qui contiennent chacune 3 mesures.

1184 Systèmes — motifs et gammes combinés

1185 Pour la suite de l'expérimentation théorique, nous utiliserons le motif 1
 1186 de la figure 4.3.

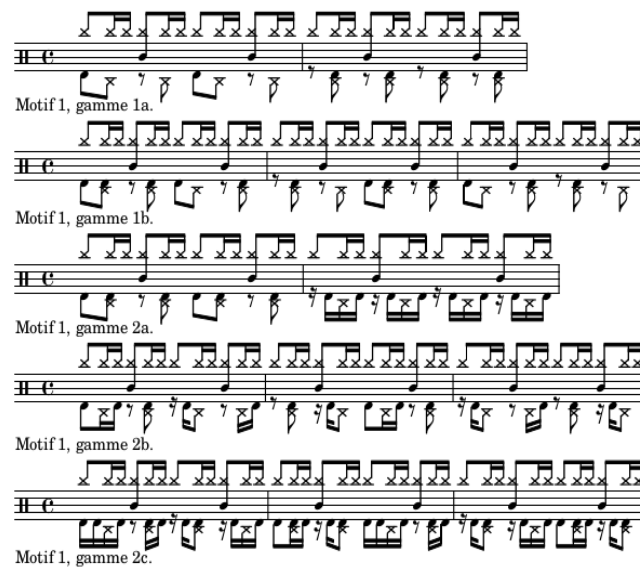


FIGURE 4.4 – Partition d'un système en 4/4 binaire

1187

1188 Représentation du système en arbres de rythmes

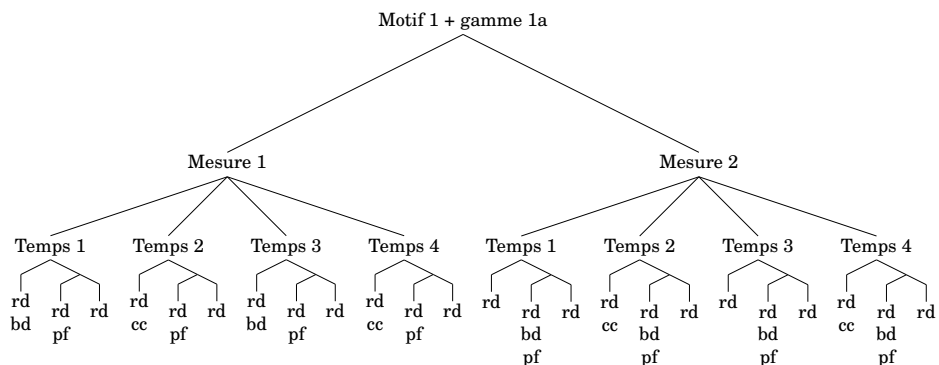


FIGURE 4.5 – Arbre de rythme — système

1189 L’arbre de la figure 4.5 servira de base pour le suite de l’expérimentation.
1190 Comme indiqué à la racine de l’arbre, il représente la première ligne de la
1191 figure 4.4. Même si cet arbre représente parfaitement le rythme concerné,
1192 il manque des indications de notation telles que les voix spécifiques à
1193 chaque partie du rythme ainsi que les choix d’écriture pour les distances
1194 qui séparent les notes de chaque voix entre elles en termes de durée.

1195 **Réécriture — séparation des voix et simplification**

1196 **La séparation des voix**

1197 Ainsi l’arbre syntaxique de départ est divisé en autant d’instruments qui
1198 le constituent et les voix seront regroupées en suivant les règles du sys-
tème.

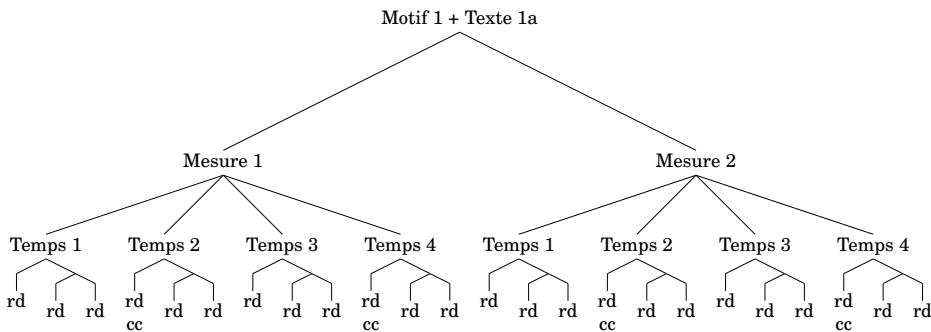


FIGURE 4.6 – Arbres de rythme — voix haute

1199
1200 La voix haute regroupe la ride et la caisse-claire sur les ligatures du haut.

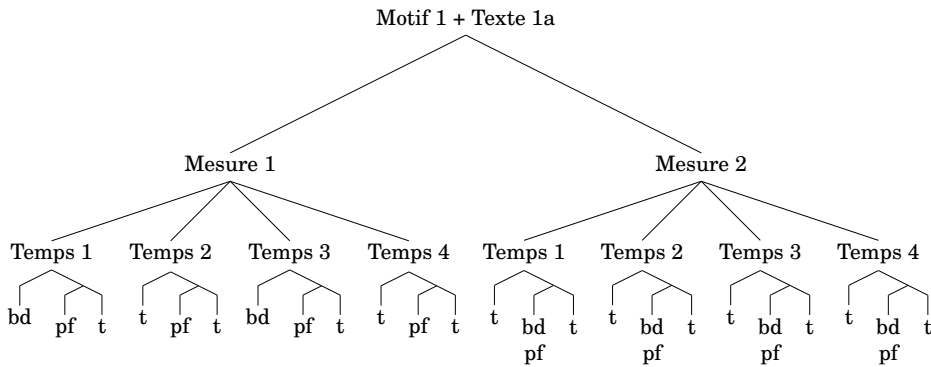


FIGURE 4.7 – Arbres de rythme — voix basse

1201
1202 La voix basse regroupe la grosse-caisse et le charley au pied sur les liga-
1203 tures du bas.

1204 Les règles de simplifications

1205 L'objectif des règles de simplifications est de réécrire les écarts de durées
 1206 qui séparent les notes d'une manière appropriée pour la batterie et qui
 1207 soit la plus simple possible. Les ligatures relient les notes d'un temps
 1208 entre elles (rendre la pulse visuelle).

1209

1210 Pour les figures ci-dessous :

1211 — x = une note ;

1212 — r = un silence ;

1213 — t = une continuation (point ou liaison)

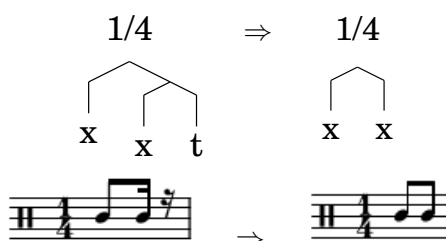


FIGURE 4.8

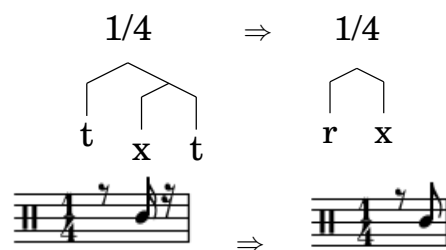


FIGURE 4.9

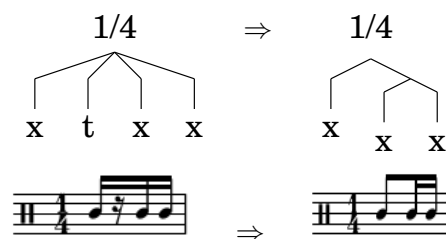


FIGURE 4.10

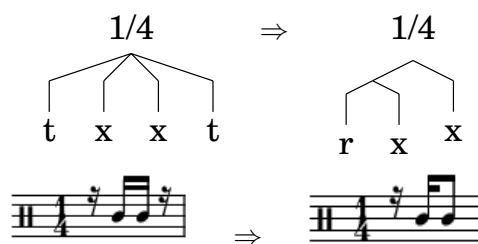


FIGURE 4.11

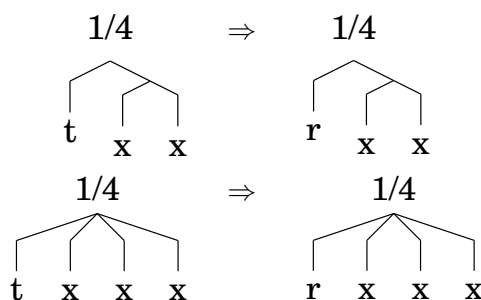


FIGURE 4.12

1214 Ces règles ont été tirées de l'ensemble des arbres du système. Les arbres
1215 manquants seront mis en annexe.

1216 Les règles remplacent par un silence les continuations (t) qui sont au
1217 début d'un temps. Cela est valable pour ce système mais lorsqu'il y a des
1218 ouvertures de charley, cela n'est pas toujours applicable. Ce problème est
1219 évoqué de le chapitre 3.

1220 ⇒ **Objectif de cette expérimentation théorique :**

1221 La méthode des *systèmes* étant basée sur une approche dictionnaire, cette
1222 expérimentation théorique a pour but d'orienter la recherche d'autres
1223 systèmes par observation du jeu de données et de montrer comment les
1224 construire pour agrandir la base de connaissance de Qparse pour l'ADT.

1225 4.4 Résultats et discussion

1226

1227 Cette section regroupe les avancées qui ont été réalisées par rapport aux
1228 objectifs de départ ainsi qu'une réflexion sur le moyen d'évaluer les résul-
1229 tats de l'ADT avec Qparse. Nous avons améliorer le système de quantifi-
1230 cation de Qparse pour la batterie, notamment le passage à la polyphonie
1231 avec les Jams.

1232 Nous avons pu obtenir des arbres de parsing corrects en améliorant les
1233 grammaires avec des fichiers MIDI courts. Puis, une sortie MEI a été
1234 aussi été obtenu (encore à vérifier).

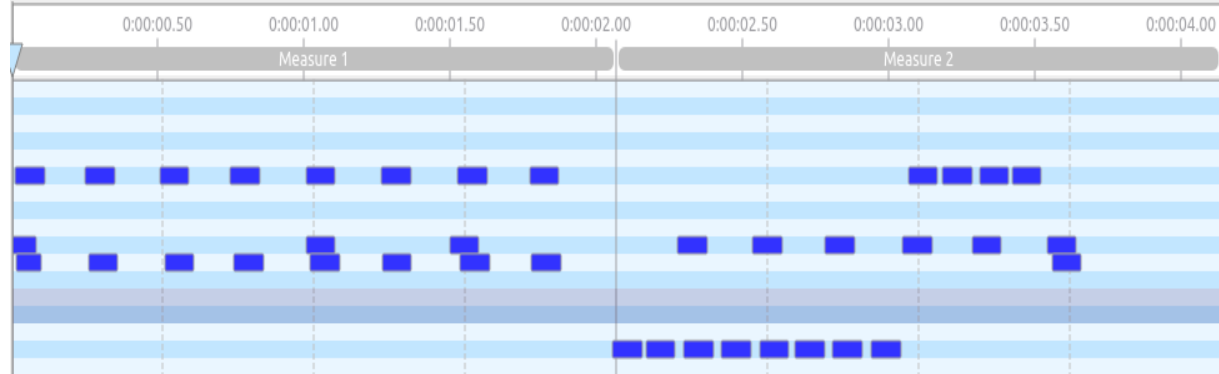
je vois 2 problématiques et contrib. principales : 1) transcription polyphonique par parsing (verrou) : jams etc 2) réécriture, pour séparation en voix et simplification, aidée (guidée) par système. Ce serait bien de présenter la contrib. 1 dans une section (comme 4.3 pour 2), avant d'aborder résultats et discussion

1235 Les Jams

Les Jams permettent de passer du monophonique au polyphonique.

Le parsing

Tests effectués avec le fichier midi suivant :



Un premier test convaincant est effectué avec la grammaire suivante :

// bar level

0 -> C0 1

0 -> E1 1

0 -> U4(1, 1, 1, 1) 1

// half bar level

9 -> C0 1

9 -> E1 1

// beat level

1 -> C0 1

1 -> E1 1

1 -> T2(2, 2) 1

1 -> T4(4, 4, 4, 4) 1

// croche level

2 -> C0 1

2 -> E1 1

// double level

4 -> C0 1

4 -> E1 1

4 -> E2 1

4 -> T2(6, 6) 1

1268 // triple level

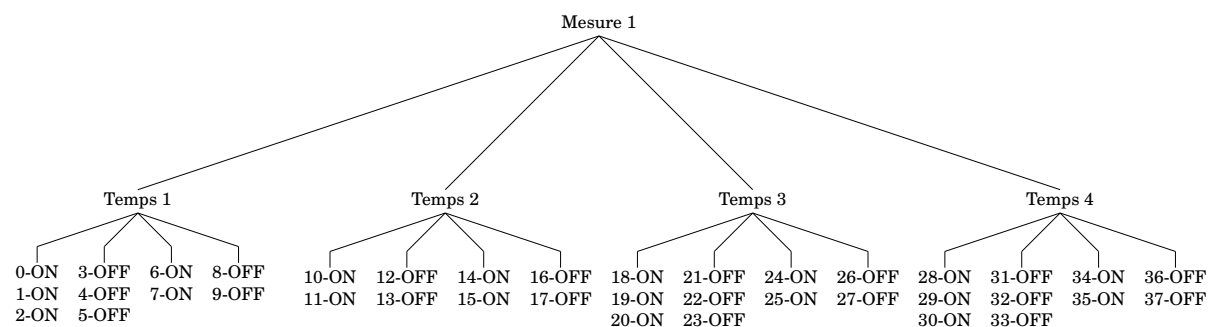
1269 6 -> E1 1

1270

1271 Cette grammaire sépare les ligatures par temps au niveau de la
 1272 mesure. Puis, au niveau du temps, elle autorise les divisions par deux
 1273 (croches) et par quatre (doubles-croches). Tous les poids sont réglés sur 1.
 1274 L'arbre de parsing en résultant est considéré comme « convaincant » car
 1275 il découpe correctement les mesures et les temps.

1276

1277



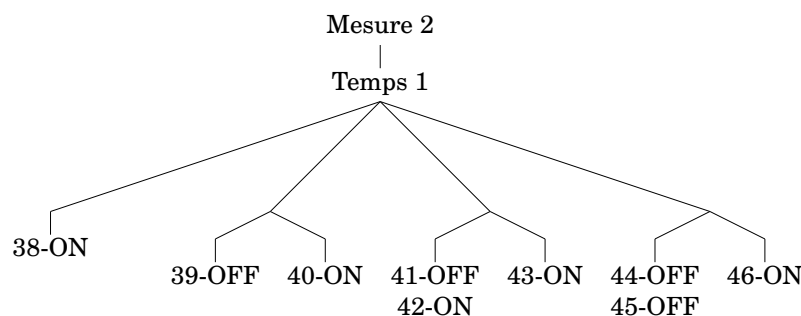
1278

1279

1280 Les temps de la première mesure du fichier MIDI sont bien quanti-
 1281 fié mais ceux de la deuxième mesure présentent quelques défauts de
 1282 quantification visibles dès le premier temps.

1283

1284



1285

1286

1287 Les Onsets sont correctement triés au niveau des doubles croches
 1288 mais certaines doubles croches sont inutilement subdivisées en triples
 1289 croches (les 2ème, 3ème et 4ème doubles croches sur le premier temps
 1290 ci-dessus).

1291

1292 2ème exemple :

1293 Après une augmentation du poids des triples croches dans la grammaire
 1294 (monté de 1 à 5) et une baisse de tous les autres poids (descendu de 1 à
 1295 0.5), et mis à part le troisième temps de la 2ème mesure, tous les Onsets
 1296 sont bien triés et aucuns ne sont subdivisés.

1297 **Évaluation**

1298 Pour l'évaluation, il aurait fallu produire un module.
 1299 L'évaluation est-elle automatique ou manuelle?
 1300 Possibilité d'un export lilypond en arbre pour comparer l'output avec la
 1301 transcription manuelle.
 1302 Possibilité de transformer lilypond(output) et lilypond(ref) en ScoreModel
 1303 ou MEI pour les comparer et faire des statistiques. Si transformés en
 1304 MEI : diffscore de Francesco. Possibilité de transformer lilypond(output)
 1305 et lilypond(ref) en MusicXML pour les comparer ou dans Music21.
 1306 L'expérimentation peut-être considérer comme une évaluation manuelle?
 1307 (magicien d'Oz)
 1308 Lilypond vers MIDI + output vers MIDI \Rightarrow Comparaison des MIDI
 1309 dumpés.
 1310

1311 **Discussion**

1312 Dans cette section, nous discuterons sur la pertinence de l'ensemble des
 1313 choix qui ont été faits. Nous ferons un bilan des différents avancés qui
 1314 ont été faites ou non et nous tenterons d'en expliquer la ou les raisons.
 1315 Écrire des règles de réécriture spécifique aux charley avec un système
 1316 approprié. Le jeu de système
 1317 — implémenter un pattern...
 1318 \Rightarrow manque de temps?
 1319
 1320 — La partie résultat est manquante car :
 1321 \Rightarrow Sujet très difficile ;
 1322 \Rightarrow Matcher les motifs peut être fait ultérieurement ;
 1323 Mais ce travail aurait été indispensable pour obtenir une quan-
 1324 tité de résultats qui justifieraient une évaluation automatique
 1325 permettant de faire des graphiques.
 1326
 1327 — L'évaluation fut entièrement manuelle car :
 1328 \Rightarrow Très dure automatiquement : il faut comparer 2 partitions (réf
 1329 VS output)
 1330 — Le ternaire jazz (voir expérience 2)
 1331 — Reconnaissance d'un motif sur le MIDI
 1332 Reconnaître un motif (système) sur une mesure de l'input (un fi-
 1333 chier midi représentant des données audios)
 1334 \Rightarrow Motif (système) reconnu : true ou false
 1335 Si true :
 1336 - Choisir la grammaire correspondante ;
 1337 - Parser le MIDI ;

- 1338 - Appliquer les règles de réécritures (Séparation des voix et simpli-
1339 fication)
- 1340 — Nous travaillerons aussi sur la détection de répétitions sur plu-
1341 sieurs mesures afin de pouvoir corriger des erreurs sur une des
1342 mesures qui aurait dû être identique aux autres mais qui présente
1343 des différences.
- 1344 — dans quelle catégorie mettre le shuffle ?
- 1345 Sujet passionnant mais difficile. Obtenir la totalité des critères pour le
1346 mémoire n'aurait pas pu être fait sans bâcler. Une base solide spécifique
1347 à la batterie a été générée. Elle sera un bon point de départ pour les
1348 travaux futurs dont plusieurs propositions sont énoncés dans le présent
1349 document.

CONCLUSION GÉNÉRALE

1351 Dans ce mémoire, nous avons traité de la problématique de la transcrip-
1352 tion automatique de la batterie. Son objectif était de transcrire, à partir
1353 de leur représentation symbolique MIDI, des performances de batteur de
1354 différents niveaux et dans différents styles en partitions écrites.
1355 Nous avons avancé sur le parsing des données MIDI établissant un pro-
1356 cessus de regroupement des événements MIDI qui nous a permis de faire
1357 la transition du monophonique vers le polyphonique. Une des données
1358 importante de ce processus était de différencier les nature des notes d'un
1359 accord, notamment de distinguer lorsque 2 notes constituent un accord
1360 ou un *fla*.
1361 Nous avons établis des *grammaires pondérées* pour le parsing qui corres-
1362 pondent respectivement à des métriques spécifiques. Celles-ci étant sélec-
1363 tionnables en amont du parsing, soit par indication des noms des fichiers
1364 MIDI, soit par reconnaissance de la métrique avec une approche diction-
1365 naire de patterns prédéfinis⁵ qu'il serait pertinent de mettre en œuvre en
1366 machine learning.
1367 Nous avons démontré que l'usage des *systèmes* élimine un grand nombre
1368 de calcul lors de la réécriture. Pour la séparation des voix grâce au motif
1369 d'un système et pour la simplification grâce aux gammes du motif d'un
1370 système. Nous avons aussi montré comment, dans des travaux futurs, un
1371 système dont le motif serait reconnu en amont dans un fichier MIDI pour-
1372 rait prédéfinir le choix d'une grammaire par la reconnaissance d'une mé-
1373 trique et ainsi améliorer le parsing et accélérer les choix ultérieurs dans
1374 la chaîne de traitement en terme de réécriture.
1375 Il sera également intéressant d'étudier comment l'utilisation de LM peut
1376 améliorer les résultats de l'AM, voir [2], et ouvrir la voie à la génération
1377 entièrement automatisée de partitions de batterie et au problème général
1378 de l'AMT de bout en bout.[11]

5. *Motifs* dans les *systèmes* de la présente proposition.

BIBLIOGRAPHIE

- 1380 [1] A. Danhauser. *Théorie de la musique*. Edition Henry Lemoine, 41
1381 rue Bayen - 75017 Paris, Édition revue et augmentée - 1996 edition,
1382 1996. – Cité pages 7, 28 et 32.
- 1383 [2] H. C. Longuet-Higgins. Perception of melodies. 1976. – Cité pages 11
1384 et 15.
- 1385 [3] Meinard Müller. *Fundamentals of Music Processing*. 01 2015. – Cité
1386 page 12.
- 1387 [4] Gaël Richard et al. De fourier à la reconnaissance
1388 musicale. Available at [https://interstices.info/
1389 de-fourier-a-la-reconnaissance-musicale/](https://interstices.info/de-fourier-a-la-reconnaissance-musicale/) (2019/02/15).
1390 – Cité page 12.
- 1391 [5] Caroline Traube. Quelle place pour la science au sein de la musico-
1392 logie aujourd’hui? *Circuit*, 24(2) :41–49, 2014. – Cité page 12.
- 1393 [6] Leonard Bernstein Office. The unanswered question : Six talks at
1394 harvard. Available at [https://leonardbernstein.com/about/
1395 educator/norton-lectures](https://leonardbernstein.com/about/educator/norton-lectures) (2021/01/01). – Cité page 12.
- 1396 [7] Bénédicte Poulin-Charronnat and Pierre Perruchet. Les interactions
1397 entre les traitements de la musique et du langage. *La Lettre des
1398 Neurosciences*, 58 :24–26, 2018. – Cité page 13.
- 1399 [8] Mikaela Keller, Kamil Akesbi, Lorenzo Moreira, and Louis Bigo.
1400 Techniques de traitement automatique du langage naturel appli-
1401 quées aux représentations symboliques musicales. In *JIM 2021 -
1402 Journées d’Informatique Musicale*, Virtual, France, July 2021. –
1403 Cité page 13.
- 1404 [9] Peter Wunderli. Ferdinand de saussure : La sémiologie et les sémio-
1405 logies. *Semiotica*, 2017(217) :135–146, 2017. – Cité page 13.
- 1406 [10] Junyan Jiang, Gus Xia, and Taylor Berg-Kirkpatrick. Discovering
1407 music relations with sequential attention. In *NLP4MUSA*, 2020. –
1408 Cité page 13.
- 1409 [11] Emmanouil Benetos, Simon Dixon, Dimitrios Giannoulis, Holger
1410 Kirchhoff, and Anssi Klapuri. Automatic music transcription : Chal-

- 1411 lenges and future directions. *Journal of Intelligent Information Sys-*
1412 *tems*, 41, 12 2013. – Cité pages 14, 15, 17, 21 et 61.
- 1413 [12] Daniel Harasim, Christoph Finkensiep, Petter Ericson, Timothy J
1414 O'Donnell, and Martin Rohrmeier. The jazz harmony treebank. –
1415 Cité pages 14 et 25.
- 1416 [13] Chih-Wei Wu, Christian Dittmar, Carl Southall, Richard Vogl, Ge-
1417 rhard Widmer, Jason Hockman, Meinard Müller, and Alexander
1418 Lerch. A review of automatic drum transcription. *IEEE/ACM Tran-*
1419 *sactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 26(9) :1457–
1420 1483, 2018. – Cité pages 16, 17, 22 et 25.
- 1421 [14] Moshekwa Malatji. Automatic music transcription for two instru-
1422 ments based variable q-transform and deep learning methods, 10
1423 2020. – Cité page 22.
- 1424 [15] Antti J. Eronen. Musical instrument recognition using ica-based
1425 transform of features and discriminatively trained hmms. *Seventh*
1426 *International Symposium on Signal Processing and Its Applications*,
1427 *2003. Proceedings.*, 2 :133–136 vol.2, 2003. – Cité page 22.
- 1428 [16] Hiroshi G. Okuno Kazuyoshi Yoshii, Masataka Goto. Automatic
1429 drum sound description for real-world music using template adap-
1430 tation and matching methods. *International Conference on Music*
1431 *Information Retrieval (ISMIR)*, pages 184–191, 2004. – Cité page 23.
- 1432 [17] Kentaro Shibata, Eita Nakamura, and Kazuyoshi Yoshii. Non-local
1433 musical statistics as guides for audio-to-score piano transcription.
1434 *Information Sciences*, 566 :262–280, 2021. – Cité pages 23 et 24.
- 1435 [18] Francesco Foscarin, Florent Jacquemard, Philippe Rigaux, and Ma-
1436 sahiko Sakai. A Parse-based Framework for Coupled Rhythm Quan-
1437 tization and Score Structuring. In *MCM 2019 - Mathematics and*
1438 *Computation in Music*, volume Lecture Notes in Computer Science
1439 *of Proceedings of the Seventh International Conference on Mathema-*
1440 *tics and Computation in Music (MCM 2019)*, Madrid, Spain, June
1441 2019. Springer. – Cité pages 23 et 24.
- 1442 [19] C. Agon, K. Haddad, and G. Assayag. Representation and rende-
1443 ring of rhythm structures. In *Proceedings of the First International*
1444 *Symposium on Cyber Worlds (CW'02)*, CW '02, page 109, USA, 2002.
1445 IEEE Computer Society. – Cité page 24.
- 1446 [20] Florent Jacquemard, Pierre Donat-Bouillud, and Jean Bresson. A
1447 Term Rewriting Based Structural Theory of Rhythm Notation. Re-
1448 search report, ANR-13-JS02-0004-01 - EFFICACe, March 2015. –
1449 Cité page 24.

- 1450 [21] Florent Jacquemard, Adrien Ycart, and Masahiko Sakai. Generating
1451 equivalent rhythmic notations based on rhythm tree languages. In
1452 *Third International Conference on Technologies for Music Notation
1453 and Representation (TENOR)*, Coroña, Spain, May 2017. Helena Lo-
1454 pez Palma and Mike Solomon. – Cité page 24.
- 1455 [22] R. Marxer and J. Janer. Study of regularizations and constraints in
1456 nmf-based drums monaural separation. In *International Conference
1457 on Digital Audio Effects Conference (DAFx-13)*, Maynooth, Ireland,
1458 02/09/2013 2013. – Cité page 25.
- 1459 [23] J.-F. Juskowiak. *Rythmiques binaires 2*. Alphonse Leduc, Editions
1460 Musicales, 175, rue Saint-Honoré, 75040 Paris, 1989. – Cité page 28.
- 1461 [24] Dante Agostini. *Méthode de batterie, Vol. 3*. Dante Agostini, 21, rue
1462 Jean Anouilh, 77330 Ozoir-la-Ferrière, 1977. – Cité page 28.
- 1463 [25] O. Lacau J.-F. Juskowiak. *Systèmes drums n. 2*. MusicCom publica-
1464 tions, Editions Joseph BÉHAR, 61, rue du Bois des Joncs Marins -
1465 94120 Fontenay-sous-Bois, 2000. – Cité pages 29 et 40.
- 1466 [26] Jon Gillick, Adam Roberts, Jesse Engel, Douglas Eck, and David
1467 Bamman. Learning to groove with inverse sequence transforma-
1468 tions. In *International Conference on Machine Learning (ICML)*,
1469 2019. – Cité page 45.

