

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	16
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	24
30	2.4 Approche linéaire et approche hiérarchique	24
31	3 Méthodes	29
32	3.1 La notation de la batterie	29
33	3.2 Modélisation pour la transcription	37
34	3.3 Qparse	38
35	3.4 Les systèmes	40
36	4 Expérimentations	47
37	4.1 Le jeu de données	47
38	4.2 Analyses et transcriptions manuelles	49
39	4.3 Transcription polyphonique par parsing (?verrou?)	53
40	4.4 Expérimentation d'une forme rythmique	55
41	4.5 BILAN : résultats — évaluation — discussion	60
42	Conclusion générale	63
43	Bibliographie	65

LISTE DES FIGURES

45	1.1	Exemple évènements avec durée	16
46	1.2	Critère pour un évènement	17
47	1.3	Exemple évènements sans durée	17
48	1.4	Exemple de partition de piano	18
49	1.5	MusicXML	18
50	2.1	Transcription automatique <dam>remettre ici la citation de la	
51		capture d'écran avec la page</dam>	23
52	2.2	HMM	26
53	2.3	arbre_jazz	27
54	3.1	29
55	3.2	Rapport des figures de notes	30
56	3.3	Les instruments de la batterie	31
57	3.4	Hauteur et têtes de notes	31
58	3.5	Point et liaison	32
59	3.6	Les silences	33
60	3.7	Silence joué	34
61	3.8	Équivalence	35
62	3.9	Séparation des voix	35
63	3.10	Les accents et les ghost-notes	36
64	3.11	Exemple pour les accentuations et les ghost-notes	36
65	3.12	Présentation de Qparse	39
66	3.13	Métrique	41
67	3.14	Motif 4-4 binaire	42
68	3.15	Motif 4-4 jazz	43
69	3.16	Système 4-4 afro-latin	43
70	3.17	Simplification	44
71	3.18	45
72	4.1	Batterie électronique	48
73	4.2	Partition de référence	52
74	4.3	Motifs et gammes	56
75	4.4	Partition d'un forme rythmique en 4/4 binaire	57
76	4.5	Arbre de rythme — forme rythmique	57
77	4.6	Arbre de rythme — voix haute	58
78	4.7	Arbre de rythme — voix basse	58
79	4.8	59
80	4.9	59

81	4.10	59
82	4.11	60
83	4.12	60

LISTE DES TABLEAUX

85	1.1 speechToText vs AMT	13
86	3.1 Pitches et instruments	37
87	3.2 Systèmes	41

INTRODUCTION GÉNÉRALE

89 QUOI?

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

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

111

112 POURQUOI?

- 113 — sujet traité : la batterie
- 114 — intérêt spécifique de la génération de partition de batterie compa-
 115 rativement au autres instrument
- 116 — patrimoine
- 117 — rapidité de génération (musicien ou enseignement)
- 118 — ...

119

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

122 COMMENT?

123 → Problématique :

124 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.

134

135 → Méthodes :

136 → Contributions :

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

140 La proposition principale de ce mémoire est basée sur la recherche de
141 rythmes génériques sur l'*input*. Ces rythmes sont des *patterns* standards
142 de batterie définis au préalable et accompagnés par les différentes combi-
143 naisons qui leur sont propres. On les nomme systèmes (voir sections 3.4,
144 4.4). L'objectif des systèmes est de fixer des choix le plus tôt possible afin
145 de simplifier le reste des calculs en éliminant une partie d'entre eux. Ces
146 choix concernent notamment la métrique et les règles de réécriture.

147

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

- 149 — une modélisation de la notation de la batterie (fusion de 3.1 et de
150 3.2) qui était jusqu'à présent inexistante.
- 151 — plusieurs transcriptions manuelles dans le but d'analyser les conte-
152 nus des fichiers MIDI et Audio (4.2) et de faire des comparaisons
153 de transcription avec des outils déjà existants¹.
- 154 — une partition de référence transcrite manuellement sur l'entièreté
155 d'une performance du jeu de données afin de repérer les éléments
156 importants pour la modélisation et de faire les liens entre les cri-
157 tères des données d'*input* avec l'écriture finale (4.2). Cette partition
158 avait aussi pour objectif d'effectuer des tests et des évaluations.
- 159 — le passage au polyphonique en théorie et en implémentation im-
160 pliquant la théorie sur la détection de l'identité de notes dans un
161 Jam² et l'implémentation de tests unitaires sur le traitement des
162 Jams (4.3).
- 163 — la création de grammaires pondérées spécifiques à la batterie (4.3)

164

1. MuseScore3

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

165 L'ensemble de ces sous-tâches a permis deux réalisations principales :
166 1) Obtenir des arbres de rythmes corrects en *output* de *qparse* avec des
167 exemples courts proches de la partition de référence.
168 2) La création d'une expérimentation théorique d'un système 4.4 dont
169 le but premier est de démontrer qu'elle est implémentable et applicable
170 à d'autres type de rythmes et dont le second objectif est de donner une
171 méthode de création d'un système à partir d'une partition.
172 Ces deux réalisations recouvrent une partie du chemin à parcourir
173 puisque pour effectuer des évaluations conséquentes sur résultat, la
174 chaîne de traitement doit être finie afin de pouvoir vérifier de manière
175 empirique que les systèmes, qui constituent ma contribution principale
176 pour ce mémoire, ont permis d'améliorer *qparse* pour la transcription
177 automatique de la batterie.

178

179 PLAN

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

188

CONTEXTE

189

190

Sommaire

191	1.1	Langues naturelles et musique en informatique	12
192	1.2	La transcription automatique de la musique	14
193	1.3	La transcription automatique de la batterie	15
194	1.4	Les représentations de la musique	16

195

196

Introduction

199

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

210 Dans ce chapitre, nous parlerons de l'informatique musicale, nous mon-
 211 trerons les liens existants entre le RIM et le TAL ainsi qu'entre les no-
 212 tions de langage musical et langue naturelle. Nous traiterons également
 213 du problème de l'AMT et de ses applications.

214 Enfin, nous décrirons les représentations de la musique qui sont néces-
 215 saires 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.

1.1 Langues naturelles et musique en informatique

COMPUTER MUSIC

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

RIM

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

RIM et TAL

Aborder la musique comme un langage avec des méthodes de TAL nécessite une réflexion autour de la musique en tant que langage ainsi que la possibilité de comparer ce même langage avec les langues naturelles. Léonard Bernstein [6] a donné une série de six conférences publiques à Harvard fondées en grande partie sur les théories linguistiques que Noam Chomsky a exposées dans son livre « Language and Mind ». Lors de la première conférence, qui a eu lieu le 9 octobre 1973, Bernstein a avoué être hanté par la notion d'une grammaire musicale mondiale innée et il analyse dans ses trois premières conférences, la musique en termes linguistiques (phonologie, syntaxe et sémantique). Quelques travaux en neurosciences ont également abordé ces questions, notamment par observation 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*).

286 1.2 La transcription automatique de la musique

287 1. OBJECTIF

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

299

300 2. APPLICATIONS

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

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

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

318

319 3. PROBLÈMES ET MÉTHODES SCIENTIFIQUES

320 L'analyse de la structure hiérarchique des séquences d'accords par utili-
321 sation de modèles grammaticaux s'est avérée très utiles dans les analyses
322 récentes de l'harmonie du jazz [12]. Comme déjà évoqué précédemment, il
323 s'agit d'un problème ancien et difficile. C'est un « graal » de l'informatique

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.

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. La tâche de la TAM comprend deux activités distinctes : 1) l'analyse et la représentation d'un morceau de musique ; 2) La génération d'une partition à partir de la représentation du morceau.

1.3 La transcription automatique de la batterie

La batterie est née au début du vingtième siècle [13]. C'est donc 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.

Les partitions de batterie sont arrivées par nécessité avec la pédagogie et l'émergence d'écoles de batterie partout dans le monde. Un autre facteur qui a contribué à l'expansion des partitions de batterie est l'émergence de la musique assistée par ordinateur (MAO). En effet, l'usage de boîtes à rythmes¹² ou de séquenceurs¹³ permettant d'expérimenter soi-même l'écriture de rythmes en les écoutant mixés avec d'autres instruments sur des machines a permis aux compositeurs de s'émanciper de la création d'un batteur en lui fournissant une partition contenant les parties exactes qu'ils voulaient entendre sur leur musique.

La batterie a un statut à part dans l'univers de l'AMT puisqu'il s'agit d'instruments sans hauteur (du point de vue harmonique), d'événements sonores auxquels une durée est rarement attribuée et de notations spécifiques (symboles des têtes de notes) [14].

Les applications de la transcription automatique de la batterie (TAB) seraient utiles, non seulement dans tous les domaines musicaux concernés par la batterie dont certains manquent de partitions, notamment les musiques d'improvisation [11], mais aussi de manière plus générale dans le domaine de la RIM : si les ordinateurs étaient capables d'analyser la partie de la batterie dans la musique enregistrée, cela permettrait de faciliter de nombreuses 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 [14].

12. Roland TR-808

13. SQ-1

cite méthode et école Agostini?

363 La TAB est un sujet de recherche crucial pour la compréhension des as-
 364 pects rythmiques de la musique, et a potentiellement un fort impact sur
 365 des domaines plus larges tels que l'éducation musicale et la production
 366 musicale.

367 1.4 Les représentations de la musique

citer M. Müller FMP pour
 cette section ?

369 Les données audio

369 trop technique. ne pas re-
 370 pier wikipédia

371 Le format de fichier WAV est une instance du *Resource Interchange File*
 372 *Format (RIFF)* défini par IBM et Microsoft. Le format RIFF agit comme
 373 une "enveloppe" pour divers formats de codage audio. Un fichier WAV
 374 peut contenir de l'audio compressé ou non compressé.

LPCM pas utile ici. parle
 juste échantillons et com-
 pression.

375 Les données MIDI

375 tu peux mentionner le for-
 376 mat spectral (analyse har-
 377 monique) crucial en MIR
 audio.

378 Le MIDI¹⁴ (Musical Instrument Digital Interface) est une norme tech-
 379 nique qui décrit un protocole de communication, une interface numérique
 et des connecteurs électriques permettant de connecter une grande va-
 riété d'instruments de musique électroniques, d'ordinateurs et d'appareils
 audio connexes pour jouer, éditer et enregistrer de la musique.

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

380 Les données midi sont représentées sous forme de piano-roll. Chaque
 381 point sur la figure 1.1 est appelé « événement MIDI » :

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

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

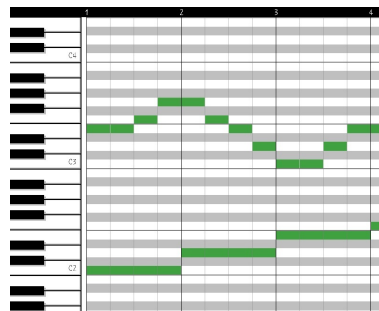


FIGURE 1.1 – Exemple événements avec durée

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

il n'y a pas de duration
 d'événement dans un MIDI
 file. la "durée" est une dis-
 tance entre 2 évènements
 ON et OFF (c'est important
 dans ton travail). le screen
 shot n'est pas utile, écrit
 plutôt une liste itemize

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

389 Ici, définir Tick et channel.

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

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

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

FIGURE 1.2 – Critère pour un évènement

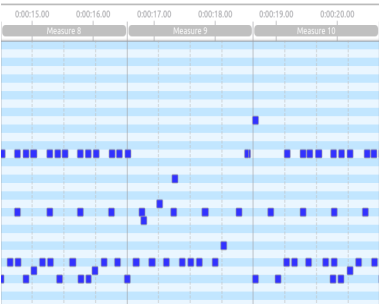


FIGURE 1.3 – Exemple évènements sans durée

392 On observe que toutes les durées sont identiques. <dam>je te suggère un
393 petit paragraphe ensuite, genre : "Le format MIDI, originellement une
394 norme technique, peut également être considéré comme une représenta-
395 tion musicale. Celle-ci peut effectivement être visualisée sous la forme
396 d'une partition ou jouée par l'ordinateur. Ce format historique, encore très
397 largement utilisé, est très important (mais aussi contraignant) dans le
398 cadre de notre travail, dans la mesure où de nombreux logiciels l'utilisent.
399 Pour la transcription musicale, il constitue une strate intermédiaire très
400 utile entre le signal audio (enregistrement) et la représentation musicale
401 lisible par un humain (partition)"</dam>

402 **Les partitions**

403 Une partition de musique¹⁵ est un document qui porte la représentation
404 systématique du langage musical sous forme écrite. Cette représentation
405 est appelée transcription et elle sert à traduire les quatre caractéristiques
406 du son musical :
407 — la hauteur;
408 — la durée;
409 — l'intensité;

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



FIGURE 1.4 – Exemple de partition de piano

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

414

415

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

418

— 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).

Les formats XML

Il existe plusieurs formats XML dédiés à la musique : MusicXML, MEI, MNX, ...

L'inconvénient de ces formats est qu'ils sont verbeux et ambigus, c'est pourquoi nous utilisons pour la transcription une représentation intermédiaire abstraite décrite plus loin.

```
<?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 1.5 – MusicXML

Le figure 1.5¹⁶ représente un do en clef de sol de la durée d'une ronde sur une mesure en 4/4 écrit au format MusicXML. 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.

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

appoggiatures

<flo>Parler des appoggiatures ici?</flo>

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons établi que la RIM s'intéresse de plus en plus au TAL, et que, par ce biais, il y a des liens possibles entre le langage musical et les langues naturelles, le plus proche étant probablement le phénomène d'écriture des sons de l'un comme de l'autre.

Nous avons également établi que la RIM est née de la TAM qui est un problème ancien et très difficile et qu'il serait toujours très utile de le résoudre (autant pour la TAM que pour la TAB).

Et enfin, nous avons décrit les représentations de la musique nécessaires 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	24
2.4	Approche linéaire et approche hiérarchique	24

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons quelques travaux antérieurs dans le domaine de la transcription automatique de la musique et de la batterie afin de situer notre démarche.

Nous aborderons le passage crucial du monophonique au polyphonique dans la transcription. Nous ferons un point sur les deux grandes parties de la TAM 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 de signaux audio vers la génération du MIDI [15].

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...

La figure 2.1 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 la TAM :

- La séparation des sources à partir de l'audio.
- Le système de transcription :
 - Cœur du système :
 - ⇒ Algorithmes de détection des multi-pitches 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.
 - ça serait bien d'avoir une vision approximative des données : - identification de l'instrument : valeur symbolique prise dans une liste prédéfinie? - estimation de la tonalité et de l'accord : en note la gamme ou Hz? - détection de l'apparition et du décalage : mesure de temps / durée - estimation du tempo et du rythme :?
- Apprentissage sur des modèles accoustiques et musicologiques.

MIDI non-quantifié = performance (à expliquer)

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

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

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

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

la figure ne correspond pas à ton travail, ici "score" = MIDI performance.

- 508 — *Optionnel* : Informations fournies de manière externe, soit fournie
 509 en amont (genre, instruments, . . .), soit par interaction avec un uti-
 510 lisateur (infos sur une partition incomplète).

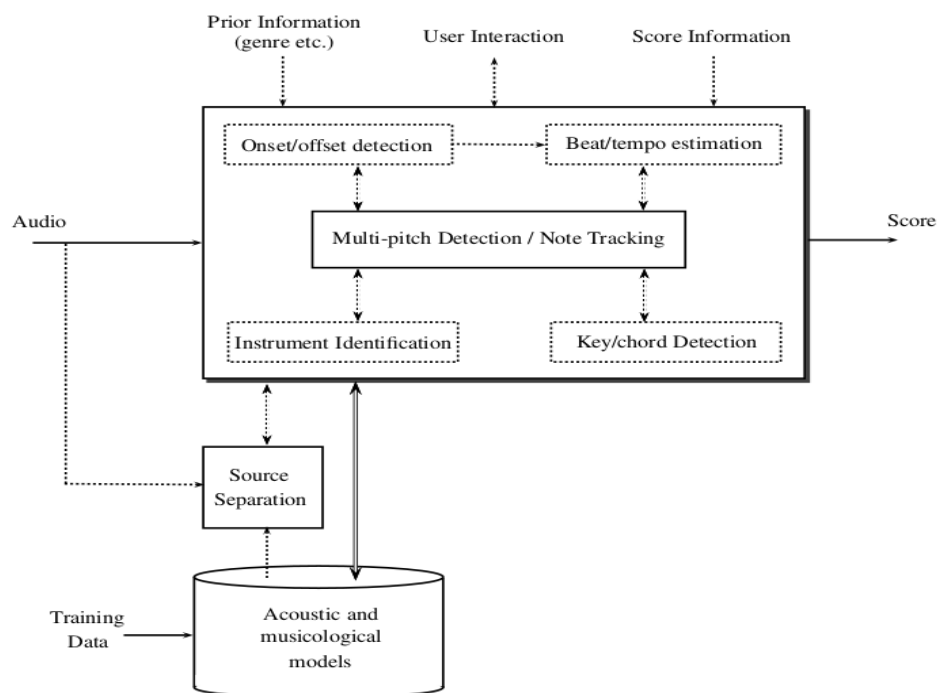


FIGURE 2.1 – Transcription automatique <dam>remettre ici la citation de la capture d'écran avec la page</dam>

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.

511 En ADT [14], plusieurs stratégies de répartition pré/post-processing sont
 512 possibles pour la détection multi-pitches. Entamer la détection dès le pré-
 513 processing, en supprimant les features non-pertinentes pendant la sépa-
 514 ration des sources afin d'obtenir une meilleure détection des instruments
 515 de la batterie, est une démarche intuitive : supprimer la structure har-
 516 monique pour atténuer l'influence des instruments à hauteurs sur la dé-
 517 tecton grosse-caisse et caisse-claire en est un exemple. Mais certaines
 518 études montrent que des expériences similaires ont donné des résultats
 519 non-concluants et que la suppression des instruments à hauteurs peut
 520 avoir des effets néfastes sur les performances de l'ADT. En outre, les sys-
 521 tèmes d'ADT basés sur des réseaux de neurones récurrents (RNN) ou sur
 522 des factorisations matricielles non négative font la séparation des sources
 523 pendant l'optimisation, ce qui réduit la nécessité de la faire pendant le

haute fréquence, aigus?

524 pré-processing.

525 Pour la reconnaissance des instruments, une approche possible [16] est
 526 de mettre un modèle probabiliste dans l'étape de la classification des évè-
 527 nements afin de classer les différents sons de la batterie. Cette méthode
 528 permet de se passer de samples audio isolés en modélisant la progression
 529 temporelle des *features*³ avec un modèle de markow caché (HMM). Les
 530 *features* sont transformés en représentations statistiques indépendantes.
 L'approche AdaMa [17] est une autre approche de la même catégorie ; elle
 commence par une estimation initiale des sons de la batterie qui sont ité-
 rativement raffinés pour correspondre à (pour matcher) l'enregistrement
 visé.

classification des évène- 527
 ments? la phrase semble 528
 redondante

pas clair... peut-être just 531
 mentionner les modèles 532
 probabilistes utilisés

535 2.3 MIDI vers partition

536 Le plus souvent, lorsque les articles abordent la transcription automa-
 537 tique de bout en bout (de l'audio à la partition), l'appellation « *score* »
 538 (partition) désigne un ouput au format Music XML, ou simplement MIDI.
 539 Par exemple, dans [18], la chaîne de traitement va jusqu'à la génération
 540 d'une séquence MIDI quantifiée qui est importée dans MuseScore pour en
 541 extraire manuellement un fichier MusicXML contenant plusieurs voix.
 542 Seuls quelques travaux récents s'intéressent de près à la création d'outils
 543 permettant la génération de partition. Le problème de la conversion d'une
 544 séquence d'évènements musicaux symboliques en une partition musicale
 545 structurée est traité notamment dans [19]. Ce travail, qui vise à résoudre
 546 en une fois la quantification rythmique et la production de partition struc-
 turée, s'appuie tout au long du processus sur des grammaires génératives
 qui fournissent un modèle hiérarchique *a priori* des partitions. Les expé-
 riences ont des résultats prometteurs, mais il faut relever qu'elle ont été
 menées avec un ensemble de données composé d'extraits monophoniques ;
 il reste donc à traiter le passage au polyphonique, en couplant le problème
 de la séparation des voix avec la quantification du rythme.

ce n'est pas exactement 536
 cela. cf. proposition de des- 537
 cription + détaillée en com-
 mentaires 538

de manière conjointe 547

langage a priori 549

qui nécessite de traiter le 552
 problème supplémentaire 553
 de la séparation de voix. i.e.
 pour la batterie on nveut 554
 quantification + structu-
 ration + séparation mais 555
 seules les 2 premières sont
 couplées dans l'approche de
 tonn stage.

L'approche de [19] est fondée sur la conviction que la complexité de la
 structure musicale dépasse les modèles linéaires.

556 2.4 Approche linéaire et approche hiérarchique

557 Plusieurs travaux ont d'abord privilégié l'approche stochastique. Par
 558 exemple, Shibata *et al.* [18] ont utilisé le modèle de Markov caché (HMM)⁴
 559 pour la reconnaissance de la métrique. Les auteurs utilisent d'abord deux

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

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

560 réseaux de neurones profonds, l'un pour la reconnaissance des pitches et
561 l'autre pour la reconnaissance de la vélocité. Pour la dernière couche, la
562 probabilité est obtenue par une fonction sigmoïde. Ils construisent en-
563 suite plusieurs HMM métriques étendus pour la musique polyphonique
564 correspondant à des métriques possibles, puis ils calculent la probabilité
565 maximale pour chaque modèle afin d'obtenir la métrique la plus probable.

- 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

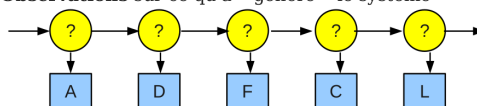


FIGURE 2.2 – HMM

566 *Source : Cours de Damien Nouvel*⁵

567

568

569 L'évaluation finale des résultats de [18] montre qu'il faut rediriger l'atten-
 570 tion vers les valeurs des notes, la séparation des voix et d'autres éléments
 571 délicats de la partition musicale qui sont significatifs pour l'exécution de
 572 la musique. Or, même si la quantification du rythme se fait le plus souvent
 573 par la manipulation de données linéaires allant notamment des *real time*
 574 *units* (secondes) vers les musical *time units* (temps, métrique, ...), de nom-
 575 breux travaux suggèrent d'utiliser une approche hiérarchique puisque le

je ne comprend pas bien 576
 l'explication. le pb est plu- 577
 tot vue locale (déduction de 578
 la proba d'une durée à par- 579
 tir de la durée précédente, 580
 par ex. dans un HMM) vs
 vue globale, dans une hié-
 rarchie

RT? 581
 582

techniques de réécriture 583
 appliquée à la déduction 584
 automatique, calcul symbo-
 lique 585

le calcul d'équiv. 586
 587

citer thèse de David Rizo 590
 (Valencia) 591

592

le langage musical est lui-même structuré. En effet, l'usage d'arbres syn-
 taxiques est idéale pour représenter le langage musical. Une méthodolo-
 gie simple pour la description et l'affichage des structures musicales est
 présentée dans [20]. Les RT y sont évoqués comme permettant une co-
 hésion complète de la notation musicale traditionnelle avec des notations
 plus complexes. Jacquemard *et al.* [21] propose aussi une représentation
 formelle du rythme, inspirée de modèles théoriques antérieurs issus du
 domaine de la réécriture de termes. Ils démontrent aussi l'application des
 arbres de rythmes pour les équivalences rythmiques dans [22]. La réécri-
 ture d'arbres, dans un contexte de composition assistée par ordinateur,
 par exemple, pourrait permettre de suggérer à un utilisateur diverses
 notations possibles pour une valeur rythmique, avec des complexités dif-
 férentes.

La nécessité d'une approche hiérarchique pour la production automatique
 de partition est évoquée dans [19]. Les modèles de grammaire qui y sont
 exposés sont différents de modèles markoviens linéaires de précédents
 travaux.

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

Example: *Summertime*

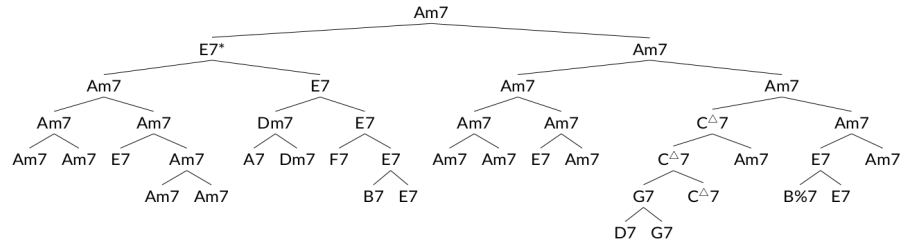


FIGURE 2.3 – arbre_jazz
Représentation arborescente d’une grille harmonique [12]

Conclusion

La plupart des travaux déjà existants sur l’ADT ont été énumérés par Wu *et al.* [14] 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 évènements sonores de batterie avec ceux des autres instruments dans un orchestre ou un groupe de musique [23], 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

3.1	La notation de la batterie	29
3.2	Modélisation pour la transcription	37
3.3	Qparse	38
3.4	Les systèmes	40

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/>

638 — La blanche, elle vaut 2 ;

639 — La noire, elle vaut 1 ;

640 — La croche, elle vaut 1/2.

plusieurs éléments

641

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

642

643

644

645

barre verticale liée à la tête
de note

646

647

haut ou bas

648

649

650

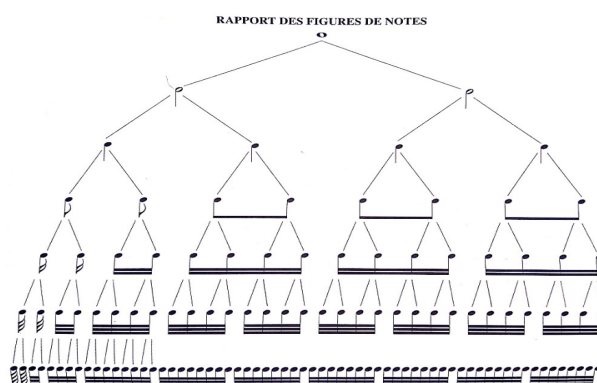


FIGURE 3.2 – Rapport des figures de notes

[1]

651 La figure 3.2 montre les rapports de durée entre les figures de notes. Plus
652 les durées sont longues, plus elles sont marquées par la tête de note (la
653 note carrée fait deux fois la durée d'une ronde) ou la présence ou non de
654 la hampe. À partir de la noire (3ème lignes en partant du haut), on ajoute
655 un crochet à la hampe d'une figure de notes pour diviser sa durée par 2.
656 Les notes à crochet (croche, double-croche, triple-croche...) peuvent être
657 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

658

659

Les hauteurs et les têtes de notes

660 Source figure 3.3 : [https://www.superprof.fr/blog/](https://www.superprof.fr/blog/composition-instrument-percussion/)
661 [composition-instrument-percussion/](https://www.superprof.fr/blog/composition-instrument-percussion/).

662 Pour la transcription, nous proposons une notation inspirée du recueil de
663 pièces pour batterie de J.-F. Juskowiak [24] et des méthodes de batterie

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



FIGURE 3.3 – Les instruments de la batterie

664 Agostini [25], car nous trouvons la position des éléments cohérente et in-
666 tuitive.

667 En effet, les hauteurs sur la portée représentent :

- 668 — La hauteur physique des instruments :
669 La caisse claire est centrale sur la portée et sur la batterie (au
670 niveau de la ceinture, elle conditionne l'écart entre les pédales et
671 aussi la position de tous les instruments basiques d'une batterie).
672 Tout ce qui en-dessous de la caisse-claire sur la portée est en
673 dessous de la caisse-claire sur la batterie (pédales, tom basse);
674 Tout ce qui est au-dessus de la caisse-claire sur la portée, l'est
675 aussi sur la batterie.
676
- 677 — La hauteur des instruments en terme de fréquences :
678 Sauf pour le charley au pied et si l'on sépare en trois groupes
679 (grosse-caisse, toms et cymbales), de bas en haut, les instruments
680 vont du plus grave au plus aigu.

pour aider, tu pourrais don-
ner une figure représentant
la batterie avec le nom des
instruments et abrégia-
tion.

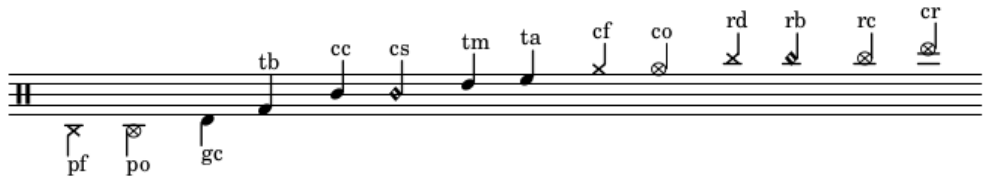


FIGURE 3.4 – Hauteur et têtes de notes

681 Les noms des instruments correspondant aux codes des notes de la figure
682 3.4 sont dans le tableau 3.1.

têtes de notes?

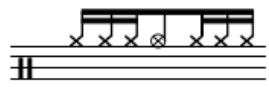
683 Les durées

684 Comme nous venons de la voir, la majorité des instruments de la batterie
 685 sont représentés par les têtes des notes. Par conséquent, les symboles
 686 rythmiques concernant la tête de note ne pourront pas être utilisés. Cela
 687 est valable aussi pour la présence ou non de la hampe puisque ce phé-
 688 nomène n'existe qu'avec les têtes de notes de type cercle-vide (opposition
 689 blanche-ronde). L'usage des blanches existe dans certaines partitions de
 690 batterie [26] mais cela reste dans des cas très rares. Certains logiciels per-
 691 mettent de faire des blanches avec des symboles spécifiques à la batterie
 692 ou aux percussions mais leur lecture reste peu aisée et leur utilisation
 693 pour la batterie est rarissime.

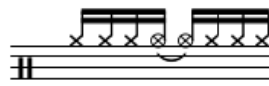
694 La durée d'une note peut être prolongée par divers symboles :

- Le point ;
- La liaison.

697 Ces symboles ne seront utiles que pour l'écriture des ouvertures de char-
 698 ley. Le charley est le seul instrument de la batterie dont la durée est quan-
 699 tifiée (les cymbales attrapées à la main peuvent l'être aussi mais cela est
 700 très rare.)



Exemple 1



Exemple 2



Exemple 3



Exemple 4

FIGURE 3.5 – Point et liaison

= la position des temps 701

702

faire un "enumerate" 704

705

706

L'écriture de la batterie doit faire ressortir la pulsation. La première chose à prendre en compte pour analyser la figure 3.5 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 ob-
tenant 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 privilé-
giera la liaison.

Les silences

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.

expliquer la notation (géné-
rale) des silebces en §1.4?

quantifier = noter? ou
quantifier la durée?

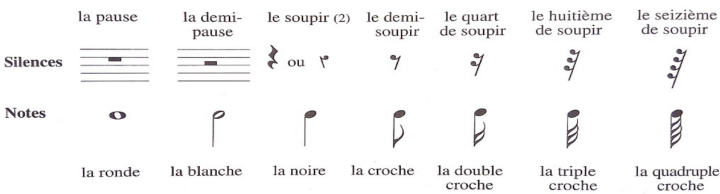


FIGURE 3.6 – Les silences

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

pas très clair



Exemple 1



Exemple 2

FIGURE 3.7 – Silence joué

725 L'exemple 1 de la figure 3.7 montre ce qui est écrit dans les données MIDI
 726 et l'exemple 2 montre ce que le batteur doit penser en lisant la parti-
 727 tion. Il faut aussi prendre en compte l'écriture surchargée que l'exemple 1
 728 donnerait avec une partition comprenant plusieurs voix et plusieurs ins-
 729 truments jouant simultanément.

730 Lorsqu'une note est un charley ouvert, il faudra donc prendre en compte
 731 la note suivante pour l'écriture : - Si c'est un charley fermé joué à la main
 732 ⇒ la note sera cf;

itemize

cf?

733 - Si c'est un charley fermé joué au pied ⇒ la note sera un silence.

734 Les équivalences rythmiques

735 Pour les instruments mélodiques, la liaison et le point sont les deux seules
 736 possibilités en cas d'équivalence rythmique pour des notes dont la durée
 737 de l'une à l'autre est ininterrompue. Mais pour la batterie, à part dans
 738 le cas des ouvertures de charley (voir section 3.1), les durées des notes
 739 n'ont pas d'importance. L'usage des silences pour combler la distance ryth-
 740 mique entre deux notes devient donc possible.

phrase alambiquée... pour
prolonger la durée?seuls comptent les dates
début de notes onsets.

741 Cela pris en compte, et étant donné que les indications de durée dans les
 742 têtes de notes sont peu recommandées (voir section 3.1), l'écriture à l'aide
 743 de silences sera privilégiée comme indication de durée sauf dans les cas
 744 où cela reste impossible. Ce choix a pour but de n'avoir qu'une manière
 745 d'écrire toutes les notes, que leurs têtes de notes soit modifiées ou non.

746 Sur la figure 3.8, théoriquement, il faudra choisir la notation de la
 747 deuxième mesure mais dans certains contextes, pour des raisons de lisi-
 748 bilité ou de surcharge, la version sans les silences de la troisième mesure
 749 pourra être choisie.



FIGURE 3.8 – Équivalence

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 3.9, il faudra faire un choix entre les exemples 1, 2 et 3 qui sont trois façons d'écrire le même rythme.

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 par orientation des hampes?



FIGURE 3.9 – Séparation des voix

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).

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

764 Les accentuations et les ghost-notes

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

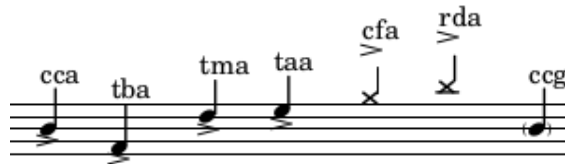


FIGURE 3.10 – Les accents et les ghost-notes

767

3.9 = liste des seuls "ins-768
truments" qui peuvent être
769 accentués?

770

771

772

773

774

775

776

777

La figure 3.10 ne prend en compte que les accents que nous avons es-
timés nécessaires (voir la section 3.2). Les accents sont marqués par le
symbole « > ». Il est positionné au-dessus des notes représentant des cym-
bales 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
ainsi, mais ces choix devront être adaptés en fonction des différents sys-
tèmes reconnus (voir la section 3.4). Par exemple, pour les systèmes jazz,
les ligatures pour les toms et la caisse-claire seront dirigés vers le bas, il
faudra donc mettre les symboles d'accentuation correspondants au-dessus
des têtes de notes.

expliquer ce qu'est une 778
ghost-notes 779

780

La dernière note de la figure 3.10 montre un exemple de ghost-notes. Le
parenthésage a été choisi car il peut être utilisé sur n'importe quelle note
sans changer la tête de note.

les codes de notes n'ont pas 781
encore été présentés... 782

Pour les codes, on prend le code de la note et on ajoute un « a » pour un
accent et un « g » pour une ghost-note. Toutes les notes de la figure 3.10
sont exposées en situation réelle dans la figure 3.11.



FIGURE 3.11 – Exemple pour les accentuations et les ghost-notes

783

784 Les flas

785 ICI, DESCRIPTION DES FLAS!

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...)

je ne comprend pas cette phrase.

il s'agit juste d'une convention de codage des instruments de la batterie en événements MIDI... que l'on prend en entrée pour la transcription

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 ;

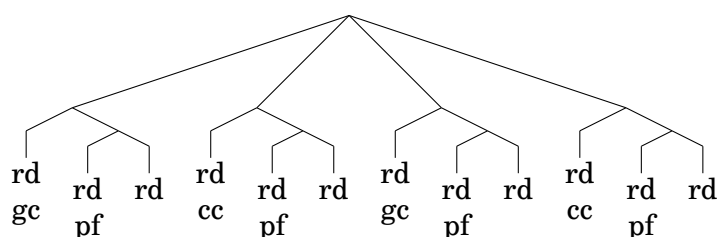
citation lilypond

et l'analyse d'autre fichiers MIDI?

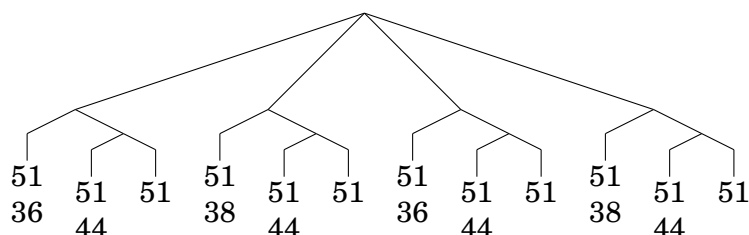
- 808 — Les accents et les ghosts-notes ne sont significatifs ni pour les ins-
 809 truments joués au pied, ni pour les cymbales crash.
 810 En effet, certaines vélocités en dessous de 40 étant détectées et ins-
 811 crites dans les données MIDI sont dues au mouvement du talon du
 812 batteur qui bat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

818 Les arbres de rythmes

819 Les arbres de rythmes représentent un rythme unique dont les possibili-
 820 tés de notation sur une partition sont théoriquement multiples.
 821 Voici une représentation de la figure 3.9 en arbre de rythmes avec les
 822 codes de chaque instrument :



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



824 Chacun des trois exemples de la figure 3.9 est représenté par un des deux
 825 arbres syntaxiques ci-dessus.
 826

827 3.3 Qparse

828 La librairie Qparse⁴ implémente la quantification des rythmes basée
 829 sur des algorithmes d'analyse syntaxique pour les automates arbores-
 830

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

non c'est juste une repré-820
 sentation du rythme, pas
 unique 821

expliquer le principe des
 RT : branchement = divi-
 sion d'intervalle temporel,
 feuilles = les événements
 musicaux commençant au
 début de l'intervalle). réfé-
 rences : - Laurson "Patch-
 work : A Visual Program-
 ming Language", 1996. -
 OpenMusic : visual pro-
 gramming environment for
 music composition, analysis
 and research, 2011.

822

Fig. 3.8, ex. 1, 2 ou 3? 823

choisir titre plus explicite828
 par ex. analyse syntaxique
 pour la transcription musi-829
 cale 830

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 parti-
 tion à l'aide de technique
 de parsing / analyse

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.

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

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.

apprentissage

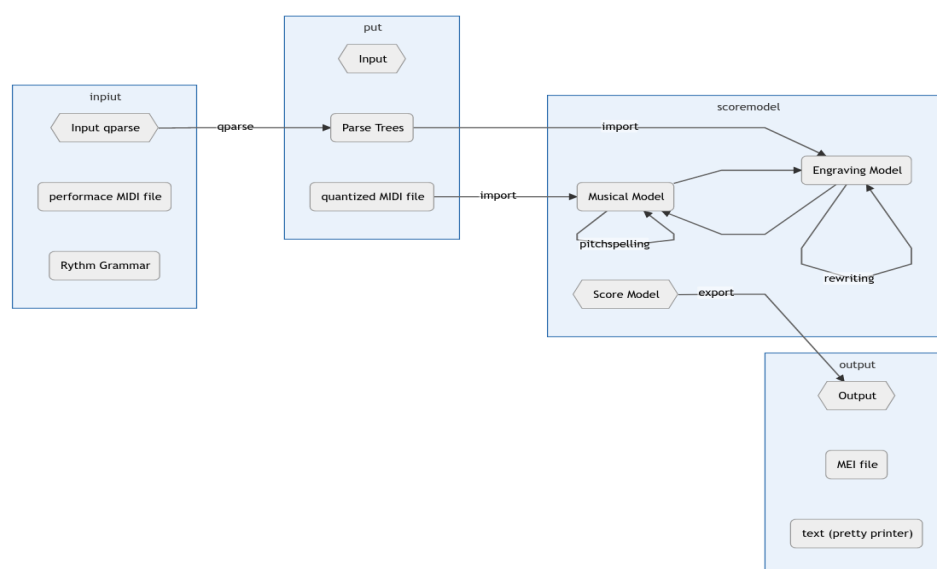


FIGURE 3.12 – Présentation de Qparse

Explication des différentes étapes de la figure 3.12⁵ :

- **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

la figure 3.11 est trop compliquée. rhythm grammar → automate d'arbres pondéré. Parse Tree → arbre syntaxique. qtz MIDI file : inutile. Score Model → représentation intermédiaire de partition. Score Model, Engr. Model : inutile. garder juste la fleche Rewriting sur S.M.

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 schemas 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 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 définie, 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	duolets, quartelets	2
afros-cubains	simple	croches	-	3

TABLE 3.2 – Systèmes

895 dans 4 grandes catégories :

896 Nous exposerons 3 systèmes afin d’illustrer les propos de cette section :

897 — 4/4 binaire

898 — 4/4 jazz

899 — 4/4 afro-cubain

900 **Objectif des systèmes**

901 Les systèmes devront être matchés sur l’input MIDI afin de :

902 — définir une métrique ;

903 — choisir une grammaire appropriée ;

904 — fournir les règles de réécriture (séparation des voix et simplifica-

905 tion.

906

908 La partie *motif* des systèmes sera utilisée pour la **définition des mé-**

909 **triques**. Le *motif* et la gammes des systèmes seront utilisés pour la **sé-**

910 **paration des voix**. Les règles de **simplification** (les combinaisons de

911 réécritures) seront extraites des voix séparées des systèmes.

912 **Détection d’indication de mesure**

913 La détection de la métrique est importante, non seulement pour connaître

914 le nombre de temps par mesure ainsi que le nombre de subdivisions pour

915 chacun de ces temps, mais aussi pour savoir comment écrire l’unité de

916 temps et ses subdivisions.

bien, il faudrait expliquer ça avant.

pas exactement. les règles de projection et simplification font la séparation en voix : à partir d’un arbre syntaxique comme celui de 3.2, elles extraient 2 arbres, chacun contenant les événements d’une seule voix

métrique ≠ signature rythmique (c’est plus général). Il aurait fallu présenter rapidement la notation des signatures rythmiques, par exemple en 1.4



Exemple 1



Exemple 2

FIGURE 3.13 – Métrique

La figure 3.13 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.

Séparation des voix

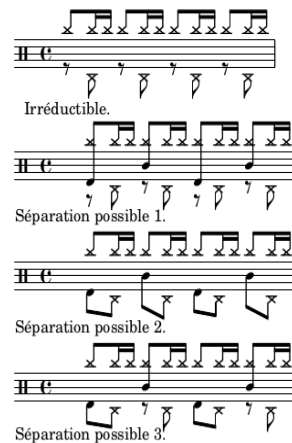


FIGURE 3.14 – Motif 4-4 binaire

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 3.14 est appelée « Irréductible

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

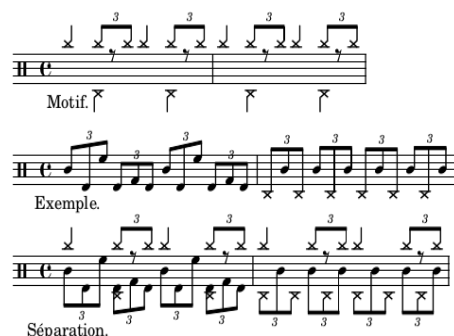


FIGURE 3.15 – Motif 4-4 jazz

947 Dans la plupart des méthodes, le charley n'est pas écrit car il est considéré
 948 comme évident en jazz traditionnel. Ce qui facilite grandement l'écriture :
 949 la ride et les crash sur la voix du haut et le reste sur la voix du bas. Ici,
 950 le parti pris est de tout écrire. Dans l'exemple ci-dessus, les mesures 1 et
 951 2 combinées avec le *motif* de la première ligne, sont des cas typiques de
 952 la batterie jazz. Tout mettre sur la voix haute serait surchargé. De plus,
 953 la grosse caisse entre très souvent dans le flot des combinaisons de toms
 954 et de caisse claire et son écriture séparée serait inutilement compliquée
 955 et peu intuitive pour le lecteur. Le choix de séparation sera donc de lais-
 956 ser les cymbales en haut et toms, caisse-claire, grosse-caisse et pédale de
 957 charley en bas.

quel exemple?



FIGURE 3.16 – Système 4-4 afro-latin

959 La figure 3.16 montre un exemple minimaliste de système afro-latin [26].
 960 Ce système doit être écrit sur trois voix car la voix centrale est souvent
 961 plus complexe qu'ici (que des noirs) et la mélanger avec le haut ou le bas
 962 serait surchargé et peu lisible.

963 Simplification de l'écriture

964 Les explications qui suivent seront appuyé par une expérimentation théo-
 965 rique dans la section 4.4.

expérimentation théo-
 rique??

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

969 Voici les différentes étapes à suivre :

- 970 — Pour chaque gamme du système, faire un arbre de rythme repré-
 971 sentant la gamme combinée avec le motif du système ;
- 972 — Pour chaque arbre de rythmes obtenus, séparer les voix et faire un
 973 arbre de rythme par voix ;
- 974 — Pour chaque voix (arbre de rythmes) obtenus, extraire tous les
 975 nœuds qui nécessitent une simplification et écrire la règle.

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

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

ce sont des figures et notes
 du chapitre suivant!

984 Même si on favorise l'usage des silences pour l'écart entre les notes n'ap-
 985 partenant pas au même temps, on les supprime systématiquement pour
 986 2 notes au sein d'un même temps et favorise, une liaison si co, un point si
 987 pas co et nécessaire, un simple ajustement de la figure de note si suffisant.

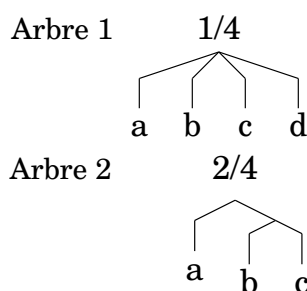


FIGURE 3.17 – Simplification

itemize

988 Soit l'arbre 1 de la figure 3.17 dans lequel : a et d sont des instruments de
 989 la batterie (x) ;

990 b et c sont des continuations (t) ;

991 Pour chacune des conditions suivantes, une suite de la figure 3.18 est
 992 attribuée :

- 993 — Si a n'est pas un co :
- 994 ⇒ Suite 1a.

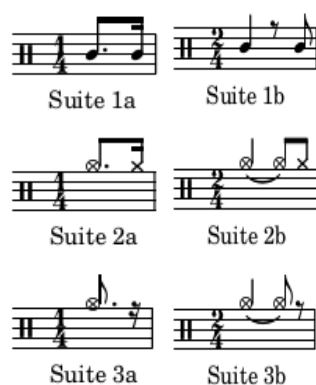


FIGURE 3.18

- 995 — Si a est un co :
 996 — Si d est un cf :
 997 ⇒ Suite 2a.
 998 — Si d est un pf :
 999 ⇒ Suite 3a : d deviens un silence (r).

1000

1001 Soit l'arbre 2 de la figure 3.17 dans lequel :
 1002 a et c sont des instruments de la batterie (x);
 1003 b est une continuation (t); Pour chacune des conditions suivantes, une
 1004 suite de la figure 3.18 est attribuée :

- 1005 — Si a n'est pas un co :
 1006 ⇒ Suite 1b, b devient un silence.
 1007 — Si a est un co :
 1008 — Si c est un cf :
 1009 ⇒ Suite 2b, b devient une liaison et c devient un cf.
 1010 — Si c est un pf :
 1011 ⇒ Suite 3b : b deviens une liaison et c devient un silence.

1012

1013 *Rappel :*

- 1014 *cf* = charley fermé joué à la main ;
 1015 *co* = charley ouvert joué à la main ;
 1016 *pf* = charley fermé joué au pied.

1017

1018 **Problème : le cf et le co ne seront jamais sur la même voix que le**
 1019 **pf... Par conséquent, les règles concernant les charleys ouverts**
 1020 **doivent-elles être appliquées sur l'arbre de parsing de l'input?...**

1021 **Conclusion**

1022 Nous avons formalisé une notation de la batterie, modélisé cette notation
1023 pour la transcription de données MIDI en partition, nous avons décrit
1024 Qparse.
1025 Enfin, nous avons exposé une approche de type dictionnaire (les « sys-
1026 tèmes ») pour détecter une métrique, choisir une grammaire pondérée ap-
1027 propriée et énoncer des règles de séparation des voix et de simplification
1028 de l'écriture.

1029

1030

EXPÉRIMENTATIONS

1031

Sommaire

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

4.1	Le jeu de données	47
4.2	Analyses et transcriptions manuelles	49
4.3	Transcription polyphonique par parsing (?verrou?) . . .	53
4.4	Expérimentation d'une forme rythmique	55
4.5	BILAN : résultats — évaluation — discussion	60

1041

Introduction

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

Dans ce chapitre, nous présenterons le jeu de données et les analyse MIDI-Audio et transcriptions manuelles.

Problématique : passage au polyphonique indispensable pour la suite du travail et pour l'expérimentation des formes rythmiques. Finir la chaîne de traitement indispensable pour obtenir des résultats chiffrés possible à évaluer.

Nous présenterons mes deux contributions principales :

- les différentes étapes de résolution du passage au polyphonique.
- l'expérimentation d'un forme rythmique implémentable qui devra être utilisé comme base de connaissances pour augmenter la rapidité et la qualité en sortie de Qparse et comme une méthode de création de nouvelles formes rythmiques.

Enfin, nous finirons par une discussion sur les avancées réalisées dans ce travail, la pertinence des choix qui ont été faits et les moyens d'évaluer les résultats potentiels.

1057

4.1 Le jeu de données

1058

1059

Nous avons utilisé le Groove MIDI Dataset¹ [27] (GMD) qui est un jeu de données mis à disposition par Google sous la licence Creative Commons

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

1060 Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).
 1061 Le GMD est composé de 13,6 heures de batterie sous forme de fichiers
 1062 MIDI et audio alignés. Il contient 1150 fichiers MIDI et plus de 22 000
 1063 mesures de batterie dans les styles les plus courants et avec différentes
 1064 qualités de jeu. Tout le contenu a été joué par des humains sur la batterie
 électronique Roland TD-11 (figure 4.1).



FIGURE 4.1 – Batterie électronique

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

1065
 1066 **Autres critères spécifiques au GMD :**
 1067 — Toutes les performances ont été jouées au métronome et à un tempo
 1068 choisi par le batteur.
 1069 — 80% de la durée du GMD a été joué par des batteurs professionnels
 1070 qui ont pu improviser dans un large éventail de styles. Les don-
 1071 nées sont donc diversifiées en termes de styles et de qualités de jeu
 1072 (professionnel ou amateur).
 1073 — Les batteurs avaient pour instruction de jouer des séquences de
 1074 plusieurs minutes ainsi que des fills ²
 1075 — Chaque performance est annotée d'un style (fourni par le batteur),
 1076 d'une signature rythmique et d'un tempo ainsi que d'une identifi-
 1077 cation anonyme du batteur.
 1078 — Il a été demandé à 4 batteurs d'enregistrer le même groupe de 10
 1079 rythmes dans leurs styles respectifs. Ils sont dans les dossiers eval-
 1080 session du GMD.
 1081 — Les sorties audio synthétisées ont été alignées à 2 ms près sur leur
 1082 fichier MIDI.

1083 **Format des données**

1084 Le Roland TD-11 enregistre les données dans des fichiers MIDI et les
 1085 divise en plusieurs pistes distinctes :
 1086 — une pour le tempo et l'indication de mesure ;

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.

- 1087 — une pour les changements de contrôle (position de la pédale de
- 1088 charley);
- 1089 — une pour les notes.
- 1090
- 1091 Les changements de contrôle sont placés sur le canal 0 et les notes sur le
- 1092 canal 9 (qui est le canal canonique pour la batterie).
- 1093 Pour simplifier le traitement de ces données, ces trois pistes ont été fu-
- 1094 sionnées en une seule piste qui a été mise sur le canal 9.

1095 4.2 Analyses et transcriptions manuelles

- 1096 Ces analyses ont été faites dans le cadre de transcriptions manuelles à
- 1097 partir de fichiers MIDI et Audio du GMD.

1098 Comparaisons de transcriptions

- 1099 Pour les comparaisons de transcriptions, les transcriptions manuelles
- 1100 (TM) ont été éditées à l'aide de Lilypond³ ou MuseScore⁴ et les transcrip-
- 1101 tions automatiques (TA) ont toutes été générées par import d'un fichier
- 1102 MIDI dans MuseScore.

1103 Exemple d'analyse 1

Transcription manuelle ⇒ Transcription automatique



- 1104 — Erreur d'indication de mesure (3/4 au lieu de 4/4);
- 1105 — Les silences de la mesure 1 de la TA sont inutilement surchargés;
- 1106 — La noire du temps 4 de la mesure 1 de la TM est devenue les deux
- 1107 premières notes (une double-croche et une croche) d'un triolet sur
- 1108 le temps 1 de la mesure 2 de la TA.

1109 Exemple d'analyse 2

- 1110 — Les doubles croches ont été interprétées en quintolet
- 1111 — La deuxième double-croche est devenue une croche.

Transcription manuelle \Rightarrow Transcription automatique



Transcription manuelle \Rightarrow Transcription automatique



1112 Exemple d'analyse 3

- 1113 — Les grosses-caisses, les charleys et les caisses-claires ont été déca-
- 1114 lés d'un temps vers la droite.
- 1115 — Les toms basses des temps 1 et 2 de la mesure 2 de la TM ont été
- 1116 décalés d'une double croche vers la droite dans la TA.
- 1117 — La première caisse-claire de la mesure 1 devient binaire dans la TA
- 1118 alors qu'elle appartenait à un triolet dans la TM.
- 1119 — Le triolet de tom-basse du temps 4 de la mesure 2 de la TA n'existe
- 1120 pas la TM.

1121

1122 Exemple d'analyse 4

Transcription manuelle \Rightarrow Transcription automatique



1123

- 1124 Sur le temps 4 de la mesure 1, la deuxième croche a été transcrite d'une
- 1125 manière excessivement complexe!

3. <http://lilypond.org/>

4. <https://musescore.com/>

1126 **Exemple d'analyse 5 (flas)**

1127 Transcription manuelle



1128

1129 Transcription automatique

1130



1131

1132

- 1133 — Le premier fla est reconnu comme étant un triolet contenant une
- 1134 quadruple croche suivie d'une triple croche au lieu d'une seule note
- 1135 ornementée.
- 1136 — Le deuxième fla est reconnu comme étant un accord.
- 1137 — Les deux double en l'air sur le temps 4 de la TM sont mal quantifiée
- 1138 dans la TA.
- 1139 — La TA ne reconnaît qu'une mesure quand la TM en transcrit deux.
- 1140 En effet, la TA a divisé par deux la durée des notes afin de les faire
- 1141 tenir dans une mesure à 4 temps dont les unités de temps sont
- 1142 les noires. Par exemple, le soupir du temps 2 de la TM devient un
- 1143 demi-soupir sur le contre-temps du temps 1 dans la TA. Ou encore,
- 1144 la noire (pf, voir le tableau 3.1) sur le temps 1 de la mesure 2 de
- 1145 la TM suivie d'un demi-soupir devient une croche pointée sur le
- 1146 temps 3 de la TA.
- 1147 — Autre problème : certaines têtes de notes sont mal attribuées. Par
- 1148 exemple, le charley ouvert en l'air sur le temps 2 de la mesure 2
- 1149 de la TM devrait avoir le même symbole sur la TA. Idem pour les
- 1150 cross-sticks.

1151 **Conclusion d'analyse**

1152 Ces analyses ont montré la difficulté pour un logiciel comme MuseScore
 1153 d'offrir une partition lisible. Les raisons sont le fait que les fichiers MIDI
 1154 ne sont pas encore quantifiés mais aussi qu'il n'y a pas de reconnaissance
 1155 de la forme du rythme impliquant sa position dans la mesure. Cette recon-
 1156 naissance pourrait permettre de rectifier les problèmes de signature ryth-
 1157 mique ainsi que les problèmes de décalage de temps. La reconnaissance
 1158 de la forme du rythme permettrait aussi de supprimer les aberrations du
 1159 type de celle de l'exemple d'analyse 4, puisque l'erreur sur cet exemple

serait reconnue comme un élément qui ne rentre pas dans le cadre de la forme de rythme en question. La dernière raison qui rend le travail difficile est l'identification des flas, comment savoir si deux notes jouées très proches sont :

- séparées et rapides,
- mal jouées à l'unisson (accord),
- ou forment un fla ?

Transcription de partition

FIGURE 4.2 – Partition de référence

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

Cette transcription a été entièrement faite avec Lilypond (voir le code lilypond sur le git https://github.com/MartinDigard/Stage_M2_Inria). Il s'agit d'une partition d'un 4/4 binaire dont le fichier MIDI

est annoncé dans le GMD de style «jazz-funk» probablement en raison de la ride de type shabada rapide (le ternaire devient binaire avec la vitesse) combiné avec l'after-beat de type rock (caisse-claire sur les deux et quatre).

Conclusion sur les transcriptions manuelles

La transcription des données audio et MIDI contenues dans ces fichiers a permis une analyse plus approfondie des critères à relever pour chaque 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).

- difficultés principales : trouver une application permettant de choisir librement la notation de la batterie. Lylipond le permet mais beaucoup de recherches ont été nécessaires pour comprendre l'ensemble des fonctionnalités permettant de faire fonctionner la notation « agostinienne » ainsi que les diverses subtilités de notations (accents, ghost-notes, flas, ...).
- lylipond reste néanmoins un choix très agréable, une fois ces difficultés surmontées.
- Écrire la partition de la figure 4.2 m'a pris beaucoup de temps car j'ai dû chercher comment écrire chaque nouvel évènement mais les autres transcriptions ont été beaucoup plus rapide et très aisées.
- Même si cela représente un investissement au départ, je recommande lylipond pour écrire la batterie et je pense que c'est meilleur outil pour cette tâche pour le moment. On peut configurer absolument tout.
- dans les autres logiciel d'édition de type musescore, la batterie est toujours confiné au système de notation américain.
- pour une comparaison entre système américain et système agostinien, voir section 4.2 est comparer les notations TM (agostinien) et TA (américain).

4.3 Transcription polyphonique par parsing (?verrou?)

<flo>Sujet de cette partie -> première problématique / contribution principale : transcription polyphonique par parsing (verrou) : jams etc</flo>

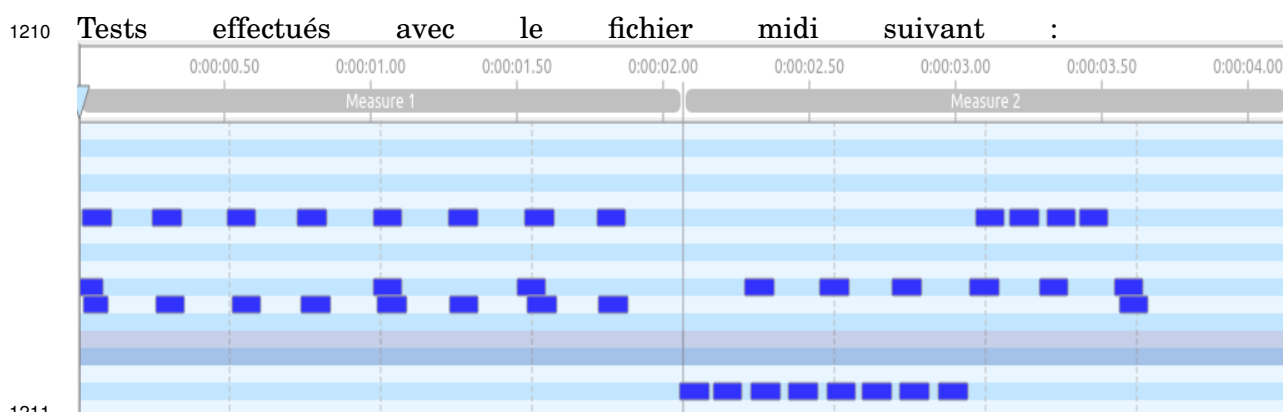
Les Jams

Les Jams permettent de passer du monophonique au polyphonique.

Le parsing

il faut revenir ici sur le parsing, et la notion d'alignement sur arbres syntaxiques pour définir les jams. illustrer avec les exemples précédents.

revenir (rapidement) sur la méthodologie suivie.



1212 Un premier test convaincant est effectué avec la grammaire suivante :

1213

1214 // bar level

1215 0 -> C0 1

1216 0 -> E1 1

1217 0 -> U4(1, 1, 1, 1) 1

1218

1219 // half bar level

1220 9 -> C0 1

1221 9 -> E1 1

1222

1223 // beat level

1224 1 -> C0 1

1225 1 -> E1 1

1226 1 -> T2(2, 2) 1

1227 1 -> T4(4, 4, 4, 4) 1

1228

1229 // croche level

1230 2 -> C0 1

1231 2 -> E1 1

1232

1233 // double level

1234 4 -> C0 1

1235 4 -> E1 1

1236 4 -> E2 1

1237 4 -> T2(6, 6) 1

1238

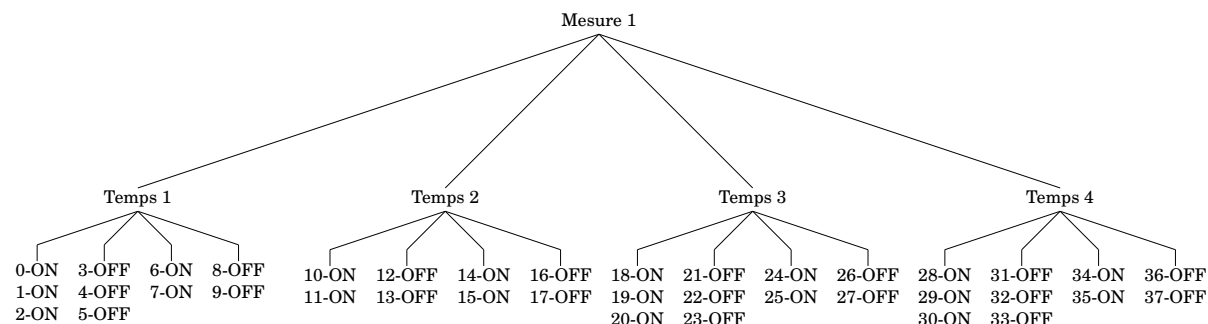
1239 // triple level

1240 6 -> E1 1

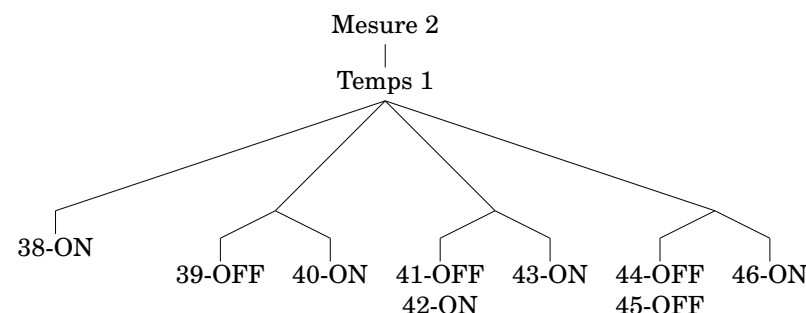
1241

1242 Cette grammaire sépare les ligatures par temps au niveau de la
 1243 mesure. Puis, au niveau du temps, elle autorise les divisions par deux

(croches) et par quatre (doubles-croches). Tous les poids sont réglés sur 1. L'arbre de parsing en résultant est considéré comme « convaincant » car il découpe correctement les mesures et les temps.



Les temps de la première mesure du fichier MIDI sont bien quantifiés mais ceux de la deuxième mesure présentent quelques défauts de quantification visibles dès le premier temps.



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

2ème exemple :

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

4.4 Expérimentation d'une forme rythmique

<flo>Sujet de cette partie -> deuxième problématique / contribution principale : réécriture, pour séparation en voix et simplification, aidée (gui-

Le titre est contradictoire
et l'explication pas très
claire

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

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 mesure 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 dont la première ne contient que des croches et la deuxième que des

1295 doubles-croches en l'air. Ces deux possibilités sont combinées de manière
1296 circulaire dans les lignes 4 et 5 qui contiennent chacune 3 mesures.

1297 **formes rythmiques — motifs et gammes combinés**

1298 Pour la suite de l'expérimentation théorique, nous utiliserons le motif 1
1299 de la figure 4.3.

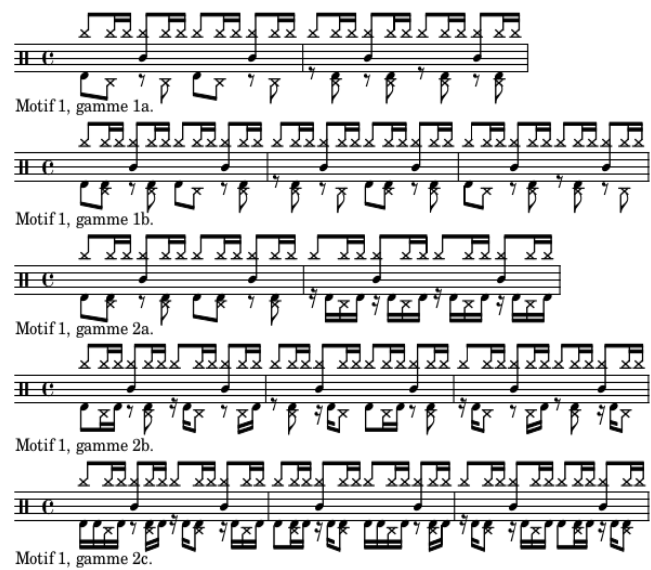


FIGURE 4.4 – Partition d'un forme rythmique en 4/4 binaire

1300

1301 **Représentation du forme rythmique en arbres de rythmes**

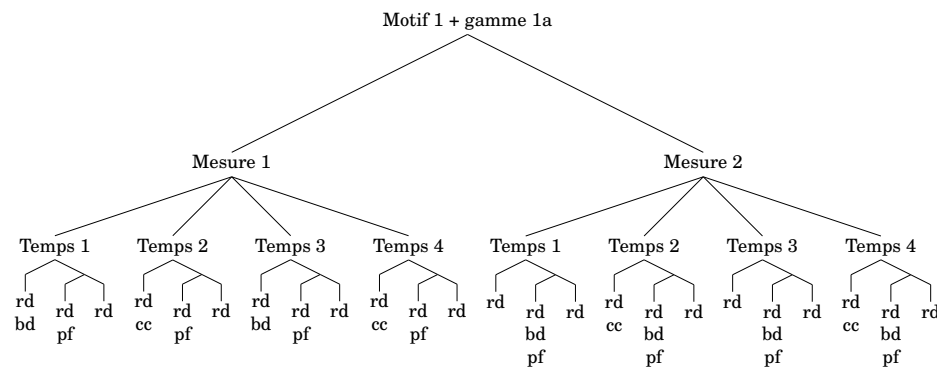


FIGURE 4.5 – Arbre de rythme — forme rythmique

1302 L'arbre de la figure 4.5 servira de base pour la suite de l'expérimentation.
 1303 Comme indiqué à la racine de l'arbre, il représente la première ligne de la
 1304 figure 4.4. Même si cet arbre représente parfaitement le rythme concerné,
 1305 il manque des indications de notation telles que les voix spécifiques à
 1306 chaque partie du rythme ainsi que les choix d'écriture pour les distances
 1307 qui séparent les notes de chaque voix entre elles en termes de durée.

1308 Réécriture — séparation des voix et simplification

1309 La séparation des voix

1310 Ainsi l'arbre syntaxique de départ est divisé en autant d'instruments qui
 1311 le constituent et les voix seront regroupées en suivant les règles du forme
 rythmique.

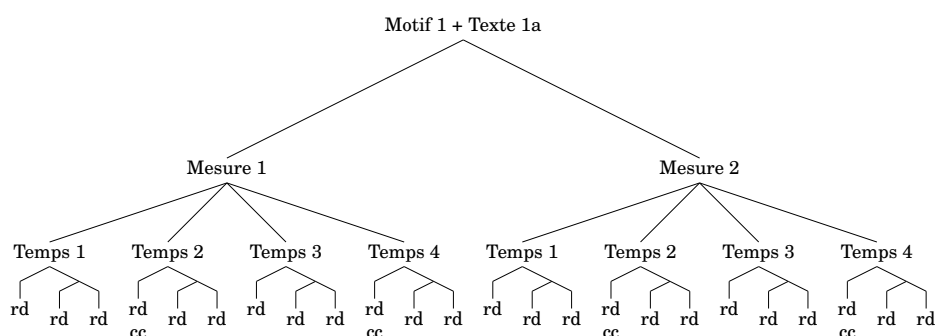


FIGURE 4.6 – Arbres de rythme — voix haute

1312 La voix haute regroupe la ride et la caisse-claire sur les ligatures du haut.
 1313

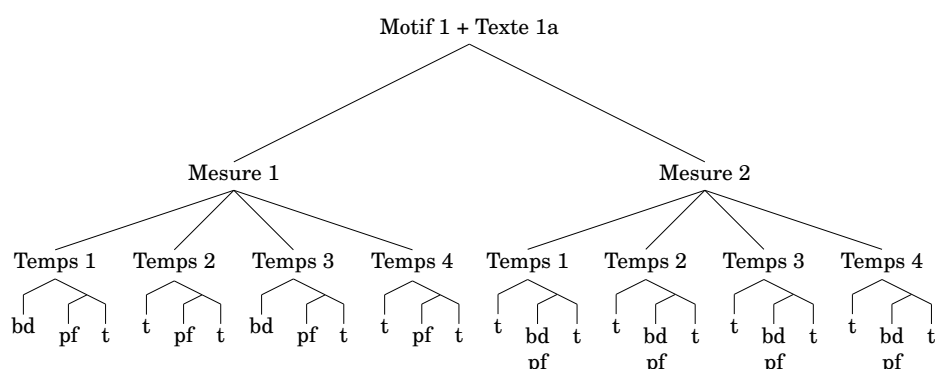


FIGURE 4.7 – Arbres de rythme — voix basse

1314 La voix basse regroupe la grosse-caisse et le charley au pied sur les liga-
 1315 tures du bas.
 1316

Les règles de simplifications

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

Pour les figures ci-dessous :

- x = une note ;
- r = un silence ;
- t = une continuation (point ou liaison)

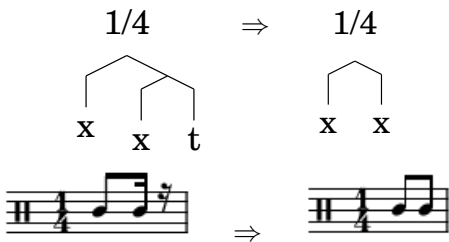


FIGURE 4.8

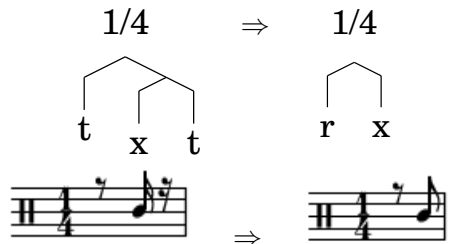


FIGURE 4.9

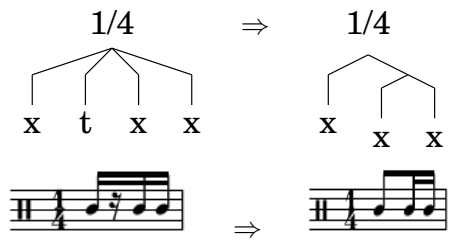


FIGURE 4.10

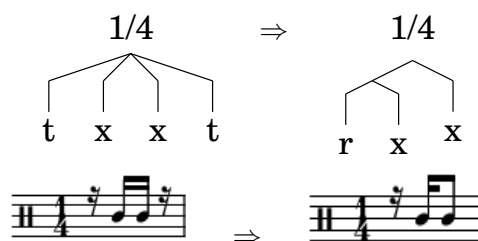


FIGURE 4.11

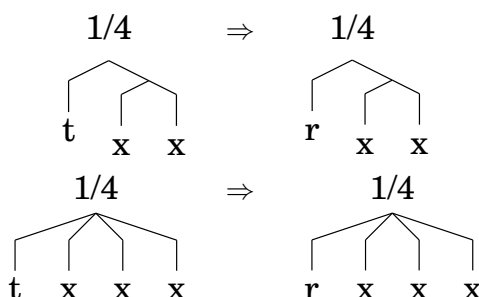


FIGURE 4.12

1327 Ces règles ont été tirées de l'ensemble des arbres du forme rythmique.
 1328 Les arbres manquants seront mis en annexe.
 1329 Les règles remplacent par un silence les continuations (t) qui sont au dé-
 1330 but d'un temps. Cela est valable pour ce forme rythmique mais lorsqu'il
 1331 y a des ouvertures de charley, cela n'est pas toujours applicable. Ce prob-
 1332 lème est évoqué de le chapitre 3.
 1333 \Rightarrow **Objectif de cette expérimentation théorique :**
 1334 La méthode des *formes rythmiques* étant basée sur une approche diction-
 1335 naire, cette expérimentation théorique a pour but d'orienter la recherche
 1336 d'autres formes rythmiques par observation du jeu de données et de mon-
 1337 trer comment les construire pour agrandir la base de connaissance de
 1338 Qparse pour l'ADT.

1339 4.5 BILAN : résultats — évaluation — discussion

1340 Cette section regroupe les avancées qui ont été réalisées par rapport aux
 1341 objectifs de départ ainsi qu'une réflexion sur le moyen d'évaluer les résul-
 1342 tats de l'ADT avec Qparse. Nous avons améliorer le système de quantifi-
 1343 cation de Qparse pour la batterie, notamment le passage à la polyphonie
 1344 avec les Jams.
 1345 Nous avons pu obtenir des arbres de parsing corrects en améliorant les
 1346 grammaires avec des fichiers MIDI courts. Puis, une sortie MEI a été
 1347 aussi été obtenu (encore à vérifier).

- 1348 Dans cette section, nous discuterons sur la pertinence de l'ensemble des
 1349 choix qui ont été faits. Nous ferons un bilan des différentes avancées qui
 1350 ont été faites ou non et nous tenterons d'en expliquer la ou les raisons.
- 1351 — Le choix de travailler avec lilypond et non verovio. Ce choix était
 1352 motivé par la liberté totale concernant la notation de la batterie
 1353 dont un et la disponibilité d'un set de notation de type agostini.
 1354 C'est la seule application qui me permettait d'écrire la notation de
 1355 la batterie exactement comme je le souhaitais.
 - 1356 — Avancé de la chaîne de traitement (nous sommes arrivé au arbres
 1357 de parsing, nous avons traité le polyphonique (identification des
 1358 regroupements de notes ⁵) ⇒ Quelques arbres ont été obtenus sur
 1359 des exemples simples (⁶)
 - 1360 — 2 dimensions de le travail fourni :
 1361 - La volonté de pousser un exemple simple jusqu'au bout de la
 1362 chaîne pour obtenir des résultats et une évaluation sur au moins
 1363 un exemple ; - La réalité du travail à fournir pour faire avancer sur
 1364 la chaîne de traitement. ⇒ Une solution aurait été de considérer
 1365 les arbres de parsing obtenus après le traitement du polyphonique
 1366 comme un résultat local possible à évaluer au lieu d'attendre que la
 1367 chaîne arrive jusqu'à la génération d'une partition mais cela n'était
 1368 pas prioritaire pendant le stage.
 - 1369 — Création d'un jeu de forme rythmique basique représentatif des
 1370 différents styles à recouvrir. Ce jeu n'a pas pu être créé, car comme
 1371 vu plus haut, je me suis focalisé sur un exemple pour pouvoir le
 1372 vérifier entièrement et dans l'espoir de pouvoir le tester en fin de
 1373 chaîne. **Évaluation** Matcher les motifs aurait été indispensable
 1374 pour obtenir une quantité de résultats qui justifieraient une
 1375 évaluation automatique permettant de faire des graphiques.
 1376 L'évaluation fut entièrement manuelle car :
 1377 ⇒ Très dure automatiquement : il faut comparer 2 partitions (réf
 1378 VS output) Pour l'évaluation, il aurait fallu produire un module.
 1379 L'évaluation est-elle automatique ou manuelle?
 1380 Possibilité d'un export lilypond en arbre pour comparer l'output
 1381 avec la transcription manuelle.
 1382 Possibilité de transformer lilypond(output) et lilypond(ref) en
 1383 ScoreModel ou MEI pour les comparer et faire des statistiques.
 1384 Si transformés en MEI : diffscore de Francesco. Possibilité de
 1385 transformer lilypond(output) et lilypond(ref) en MusicXML pour
 1386 les comparer ou dans Music21. L'expérimentation peut-être consi-
 1387 dérer comme une évaluation manuelle? (magicien d'Oz)
 1388 Lilypond vers MIDI + ouput vers MIDI ⇒ Comparaison des MIDI

5. fla ou accords entre autres...

6. exemple de 2 mesures, voir ...

1389 dumpés.

1390

1391 La transcription automatique de la batterie est un sujet passionnant mais
1392 difficile : Obtenir la totalité des éléments nécessaires pour le mémoire né-
1393 cessiterait plus de temps. Une base solide spécifique à la batterie a néan-
1394 moins été générée. Elle sera un bon point de départ pour les travaux fu-
1395 turs dont plusieurs propositions sont énoncés dans le présent document.

CONCLUSION GÉNÉRALE

1397 Dans ce mémoire, nous avons traité de la problématique de la transcrip-
1398 tion automatique de la batterie. Son objectif était de transcrire, à partir
1399 de leur représentation symbolique MIDI, des performances de batteur de
1400 différents niveaux et dans différents styles en partitions écrites.
1401 Nous avons avancé sur le parsing des données MIDI établissant un pro-
1402 cessus de regroupement des événements MIDI qui nous a permis de faire
1403 la transition du monophonique vers le polyphonique. Une des données
1404 importante de ce processus était de différencier les nature des notes d'un
1405 accord, notamment de distinguer lorsque 2 notes constituent un accord
1406 ou un *fla*.
1407 Nous avons établis des *grammaires pondérées* pour le parsing qui corres-
1408 pondent respectivement à des métriques spécifiques. Celles-ci étant sélec-
1409 tionnables en amont du parsing, soit par indication des noms des fichiers
1410 MIDI, soit par reconnaissance de la métrique avec une approche diction-
1411 naire de patterns prédéfinis ⁷ qu'il serait pertinent de mettre en œuvre en
1412 machine learning.
1413 Nous avons démontré que l'usage des *systèmes* élimine un grand nombre
1414 de calcul lors de la réécriture. Pour la séparation des voix grâce au motif
1415 d'un système et pour la simplification grâce aux gammes du motif d'un
1416 système. Nous avons aussi montré comment, dans des travaux futurs, un
1417 système dont le motif serait reconnu en amont dans un fichier MIDI pour-
1418 rait prédéfinir le choix d'une grammaire par la reconnaissance d'une mé-
1419 trique et ainsi améliorer le parsing et accélérer les choix ultérieurs dans
1420 la chaîne de traitement en terme de réécriture.
1421 Il sera également intéressant d'étudier comment l'utilisation de LM peut
1422 améliorer les résultats de l'AM, voir [2], et ouvrir la voie à la génération
1423 entièrement automatisée de partitions de batterie et au problème général
1424 de l'AMT de bout en bout.[11]

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

BIBLIOGRAPHIE

- 1426 [1] A. Danhauser. *Théorie de la musique*. Edition Henry Lemoine, 41
1427 rue Bayen - 75017 Paris, Édition revue et augmentée - 1996 edition,
1428 1996. – Cité pages 7, 30 et 36.
- 1429 [2] H. C. Longuet-Higgins. Perception of melodies. 1976. – Cité pages 11
1430 et 15.
- 1431 [3] Meinard Müller. *Fundamentals of Music Processing*. 01 2015. – Cité
1432 page 12.
- 1433 [4] Gaël Richard et al. De fourier à la reconnaissance
1434 musicale. Available at [https://interstices.info/
1435 de-fourier-a-la-reconnaissance-musicale/](https://interstices.info/de-fourier-a-la-reconnaissance-musicale/) (2019/02/15).
1436 – Cité page 12.
- 1437 [5] Caroline Traube. Quelle place pour la science au sein de la musico-
1438 logie aujourd’hui? *Circuit*, 24(2) :41–49, 2014. – Cité page 12.
- 1439 [6] Leonard Bernstein Office. The unanswered question : Six talks at
1440 harvard. Available at [https://leonardbernstein.com/about/
1441 educator/norton-lectures](https://leonardbernstein.com/about/educator/norton-lectures) (2021/01/01). – Cité page 12.
- 1442 [7] Bénédicte Poulin-Charronnat and Pierre Perruchet. Les interactions
1443 entre les traitements de la musique et du langage. *La Lettre des
1444 Neurosciences*, 58 :24–26, 2018. – Cité page 13.
- 1445 [8] Mikaela Keller, Kamil Akesbi, Lorenzo Moreira, and Louis Bigo.
1446 Techniques de traitement automatique du langage naturel appli-
1447 quées aux représentations symboliques musicales. In *JIM 2021 -
1448 Journées d’Informatique Musicale*, Virtual, France, July 2021. –
1449 Cité page 13.
- 1450 [9] Peter Wunderli. Ferdinand de saussure : La sémiologie et les sémio-
1451 logies. *Semiotica*, 2017(217) :135–146, 2017. – Cité page 13.
- 1452 [10] Junyan Jiang, Gus Xia, and Taylor Berg-Kirkpatrick. Discovering
1453 music relations with sequential attention. In *NLP4MUSA*, 2020. –
1454 Cité page 13.
- 1455 [11] Emmanouil Benetos, Simon Dixon, Dimitrios Giannoulis, Holger
1456 Kirchhoff, and Anssi Klapuri. Automatic music transcription : Chal-

- 1457 lenges and future directions. *Journal of Intelligent Information Sys-*
1458 *tems*, 41, 12 2013. – Cité pages 14, 15, 21, 22 et 63.
- 1459 [12] Daniel Harasim, Christoph Finkensiep, Petter Ericson, Timothy J
1460 O'Donnell, and Martin Rohrmeier. The jazz harmony treebank. –
1461 Cité pages 14 et 27.
- 1462 [13] Georges Paczynski. *Une histoire de la batterie de jazz*. OUTRE ME-
1463 SURE, 1997. – Cité page 15.
- 1464 [14] Chih-Wei Wu, Christian Dittmar, Carl Southall, Richard Vogl, Ge-
1465 rhard Widmer, Jason Hockman, Meinard Müller, and Alexander
1466 Lerch. A review of automatic drum transcription. *IEEE/ACM Tran-*
1467 *sactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 26(9) :1457–
1468 1483, 2018. – Cité pages 15, 23 et 27.
- 1469 [15] Moshekwa Malatji. Automatic music transcription for two instru-
1470 ments based variable q-transform and deep learning methods, 10
1471 2020. – Cité page 22.
- 1472 [16] Antti J. Eronen. Musical instrument recognition using ica-based
1473 transform of features and discriminatively trained hmms. *Seventh*
1474 *International Symposium on Signal Processing and Its Applications*,
1475 *2003. Proceedings.*, 2 :133–136 vol.2, 2003. – Cité page 24.
- 1476 [17] Hiroshi G. Okuno Kazuyoshi Yoshii, Masataka Goto. Automatic
1477 drum sound description for real-world music using template adap-
1478 tation and matching methods. *International Conference on Music*
1479 *Information Retrieval (ISMIR)*, pages 184–191, 2004. – Cité page 24.
- 1480 [18] Kentaro Shibata, Eita Nakamura, and Kazuyoshi Yoshii. Non-local
1481 musical statistics as guides for audio-to-score piano transcription.
1482 *Information Sciences*, 566 :262–280, 2021. – Cité pages 24 et 26.
- 1483 [19] Francesco Foscarin, Florent Jacquemard, Philippe Rigaux, and Ma-
1484 sahiko Sakai. A Parse-based Framework for Coupled Rhythm Quan-
1485 tization and Score Structuring. In *MCM 2019 - Mathematics and*
1486 *Computation in Music*, volume Lecture Notes in Computer Science
1487 of *Proceedings of the Seventh International Conference on Mathema-*
1488 *tics and Computation in Music (MCM 2019)*, Madrid, Spain, June
1489 2019. Springer. – Cité pages 24 et 26.
- 1490 [20] C. Agon, K. Haddad, and G. Assayag. Representation and rende-
1491 ring of rhythm structures. In *Proceedings of the First International*
1492 *Symposium on Cyber Worlds (CW'02)*, CW '02, page 109, USA, 2002.
1493 IEEE Computer Society. – Cité page 26.
- 1494 [21] Florent Jacquemard, Pierre Donat-Bouillud, and Jean Bresson. A
1495 Term Rewriting Based Structural Theory of Rhythm Notation. Re-

- 1496 search report, ANR-13-JS02-0004-01 - EFFICACe, March 2015. –
1497 Cité page 26.
- 1498 [22] Florent Jacquemard, Adrien Ycart, and Masahiko Sakai. Generating
1499 equivalent rhythmic notations based on rhythm tree languages. In
1500 *Third International Conference on Technologies for Music Notation
1501 and Representation (TENOR)*, Coruña, Spain, May 2017. Helena Lo-
1502 pez Palma and Mike Solomon. – Cité page 26.
- 1503 [23] R. Marxer and J. Janer. Study of regularizations and constraints in
1504 nmf-based drums monaural separation. In *International Conference
1505 on Digital Audio Effects Conference (DAFx-13)*, Maynooth, Ireland,
1506 02/09/2013 2013. – Cité page 27.
- 1507 [24] J.-F. Juskowiak. *Rythmiques binaires 2*. Alphonse Leduc, Editions
1508 Musicales, 175, rue Saint-Honoré, 75040 Paris, 1989. – Cité page 30.
- 1509 [25] Dante Agostini. *Méthode de batterie, Vol. 3*. Dante Agostini, 21, rue
1510 Jean Anouilh, 77330 Ozoir-la-Ferrière, 1977. – Cité page 31.
- 1511 [26] O. Lacau J.-F. Juskowiak. *Systèmes drums n. 2*. MusicCom publica-
1512 tions, Editions Joseph BÉHAR, 61, rue du Bois des Joncs Marins -
1513 94120 Fontenay-sous-Bois, 2000. – Cité pages 32 et 43.
- 1514 [27] Jon Gillick, Adam Roberts, Jesse Engel, Douglas Eck, and David
1515 Bamman. Learning to groove with inverse sequence transforma-
1516 tions. In *International Conference on Machine Learning (ICML)*,
1517 2019. – Cité page 47.

