

UNIVERSITÉ DE LILLE  
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

---

# Modèles, algorithmes et logiciels pour l'harmonisation de mélodies

Nathan LECLERCQ

---

Master Informatique  
Master mention Informatique



DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE  
Faculté des Sciences et Technologies

janvier, 2025



*Ce mémoire satisfait partiellement les pré-requis du module de Mémoire de Master, pour la 2<sup>e</sup> année du Master mention Informatique.*

**Candidat:** Nathan LECLERCQ, N° 11700804,  
nathan.leclercq.etu@univ-lille.fr

**Encadrant(e):** Mathieu GIRAUD, mathieu.giraud@univ-lille.fr



DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE  
Faculté des Sciences et Technologies  
Campus Cité Scientifique, Bât. M3 extension, 59655 Villeneuve-d'Ascq

janvier, 2025



# Résumé

Notre recherche vise à dresser un état de l'art récent sur l'harmonisation automatique de mélodies, avec un accent particulier sur les techniques ne nécessitant pas d'entraînement préalable. Comment les méthodes actuelles, notamment celles qui s'affranchissent de l'apprentissage profond et des modèles complexes, parviennent-elles à harmoniser efficacement une mélodie ? Cette question cherche à évaluer les progrès et les tendances du domaine et à en identifier les acteurs.

Pour notre question de recherche, nous allons effectuer une recherche bibliographique. Cela nous permettra de comprendre les avancées récentes dans le domaine de l'harmonisation mélodique, en particulier celles ne nécessitant pas d'apprentissage préalable, et d'identifier les tendances actuelles et futures.

Le protocole est le suivant : on commencera par identifier les sources primaires pour identifier les articles et travaux récents dans le domaine de l'harmonisation mélodique puis dans un second temps on analysera les méthodes ainsi décrites pour enfin les comparer et synthétiser tout cela en mettant l'accent sur les innovations, les améliorations de performance et les limitations.



# Indice

<b>Table des figures</b>	<b>v</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Fondements théoriques de l’harmonisation</b>	<b>3</b>
2.1 Concepts musicaux essentiels . . . . .	3
2.2 Représentation informatique de la musique . . . . .	4
<b>3 Modélisation et algorithmes pour l’harmonisation automatique</b>	<b>5</b>
3.1 Approches basées sur les règles . . . . .	5
3.2 Approches probabilistes et interpolation . . . . .	6
3.3 Représentations structurées et grammaires . . . . .	6
<b>4 Évaluation des méthodes d’harmonisation</b>	<b>7</b>
4.1 Critères d’évaluation . . . . .	7
4.2 Méthodologies . . . . .	7
4.3 Comparaison des approches . . . . .	8
<b>5 Implémentations et applications</b>	<b>9</b>
5.1 Outils et frameworks . . . . .	9
5.2 Applications pratiques . . . . .	9
<b>6 Conclusion</b>	<b>11</b>
<b>7 Fiche n°1</b>	<b>13</b>
7.1 Description de l’article . . . . .	13
7.2 Synthèse de l’article . . . . .	14
<b>8 Fiche n°2</b>	<b>17</b>
8.1 Description de l’article . . . . .	17
8.2 Synthèse de l’article . . . . .	17
<b>9 Fiche n°3</b>	<b>19</b>
9.1 Description de l’article . . . . .	19
9.2 Synthèse de l’article . . . . .	20

<b>10 Fiche n°4</b>	<b>21</b>
10.1 Description de l'article . . . . .	21
10.2 Synthèse de l'article . . . . .	22
<b>11 Fiche n°5</b>	<b>23</b>
11.1 Description de l'article . . . . .	23
11.2 Synthèse de l'article . . . . .	24
<b>A Grille d'analyse</b>	<b>25</b>



# Table des figures

A.1	Analyse comparative des techniques d'harmonisation mélodique. . .	25
-----	-------------------------------------------------------------------	----



## Chapitre 1

# Introduction

L’harmonisation automatique de mélodies est un défi complexe en informatique musicale. Elle combine les connaissances musicales et des approches algorithmiques pour créer des harmonisations qui respectent les règles musicales tout en proposant des solutions innovantes.

Les théoriciens de la musique ont établi depuis longtemps des règles d’harmonisation traditionnelles, comme celles utilisées dans le style de Bach. Ces règles servent de base aux approches algorithmiques modernes qui tentent d’automatiser le processus d’harmonisation. Cependant, avec l’émergence de l’intelligence artificielle, de nouvelles méthodes basées sur l’apprentissage profond ont gagné en popularité, laissant parfois dans l’ombre des approches plus traditionnelles. Ces dernières présentent pourtant des avantages significatifs, notamment en termes de transparence et d’absence de nécessité d’entraînement préalable.

C’est donc naturellement que vient la question : Comment les méthodes actuelles, notamment celles ne nécessitant pas d’apprentissage profond, parviennent-elles à harmoniser efficacement une mélodie ? Quels sont les avantages et limites de ces approches ?

Le plan suit une progression logique allant des bases conceptuelles et théoriques aux méthodes pratiques et à leur évaluation. Cette structure favorise une compréhension approfondie des enjeux, des méthodes et des applications dans le domaine.

Ce mémoire s’organise en commençant par les fondements théoriques nécessaires à la compréhension de l’harmonisation musicale, avant d’explorer les différentes approches algorithmiques. Nous examinerons ensuite les méthodes d’évaluation de

ces systèmes, pour finir par leurs applications pratiques et leurs implémentations concrètes. Cette progression permettra de comprendre l'état actuel de la recherche et d'identifier les perspectives futures dans ce domaine en constante évolution.

L'étude des principes harmoniques et leur modélisation informatique constitue la base sur laquelle reposent les systèmes d'harmonisation automatiques. Ces bases établies, nous pouvons désormais examiner les techniques qui en découlent.

## Chapitre 2

# Fondements théoriques de l'harmonisation

Ce chapitre pose les bases théoriques nécessaires pour comprendre l'harmonisation d'un point de vue musical et informatique. Il explore les concepts fondamentaux de l'harmonie musicale ainsi que leur traduction en représentations manipulables par des algorithmes. Il a pour but de donner les clefs de compréhension du domaine en étant le plus accessible et imagé possible (pour les gens intéressés).

### 2.1 Concepts musicaux essentiels

L'harmonisation musicale repose sur un ensemble de concepts fondamentaux qui structurent la relation entre mélodie et accompagnement. Au cœur de cette discipline se trouve la notion d'accord, qui représente la superposition simultanée de plusieurs notes créant une sonorité harmonique. Les accords s'organisent autour d'une tonalité, qui établit une hiérarchie entre les différentes notes et définit le contexte harmonique global d'une œuvre.

Dans la tradition occidentale, l'harmonisation à quatre voix, particulièrement développée dans les chorals de Bach, constitue un modèle de référence. Cette approche distribue les notes entre quatre lignes mélodiques : soprano, alto, ténor et basse. La voix supérieure (soprano) porte généralement la mélodie principale, tandis que les autres voix complètent l'harmonie en respectant des règles strictes de progression et d'espacement.

L'explication des concepts fondamentaux ouvre la voie à la manière dont ces éléments peuvent être représentés et manipulés dans un cadre informatique.

## 2.2 Représentation informatique de la musique

La transposition de ces concepts musicaux dans le domaine informatique nécessite des systèmes de représentation adaptés. Le format MIDI, largement utilisé, encode les événements musicaux (notes, durées, vélocités) sous forme de messages numériques. Bien que pratique pour la performance, il ne capture pas toute la richesse de la notation musicale.

Le format MusicXML offre une représentation plus complète, incluant les nuances, les articulations et la structure de la partition. Sa nature XML facilite l'analyse et la manipulation programmatique de la musique.

Les vecteurs de contexte pondérés, introduits par Van Kranenburg et Kearns, représentent une approche novatrice. Ces vecteurs encodent non seulement les hauteurs des notes mais aussi leur importance relative dans le contexte musical, permettant une analyse plus fine des relations harmoniques.

Ainsi, la qualité et la richesse des modélisations choisies déterminent non seulement les informations capturées, mais également leur compatibilité avec différentes techniques algorithmiques. Comprendre ces modélisations constitue une passerelle essentielle vers l'élaboration d'approches harmonisation automatique performantes. Cela nous conduit logiquement à examiner en détail les algorithmes eux-mêmes, qui traduisent ces représentations en solutions concrètes.

Les algorithmes d'harmonisation, qu'ils soient basés sur des règles, des probabilités ou des représentations hiérarchiques, reflètent différentes manières de capturer la richesse et la complexité de la musique. Nous présentons ici ces approches en détaillant leurs forces et limites.

## Chapitre 3

# Modélisation et algorithmes pour l’harmonisation automatique

Dans cette perspective, ce chapitre explore les principales familles d’approches algorithmiques utilisées pour l’harmonisation automatique. Qu’il s’agisse de systèmes basés sur des règles ou d’approches probabilistes avancées, chaque technique tire parti des modélisations discutées précédemment pour relever les défis liés à la génération d’harmonisations cohérentes et innovantes.

### 3.1 Approches basées sur les règles

Les premiers systèmes d’harmonisation automatique s’appuyaient sur des règles explicites dérivées de la théorie musicale. L’algorithme EMI (Experiments in Musical Intelligence) représente un exemple emblématique de cette approche. Ces systèmes codifient les règles traditionnelles d’harmonie : évitement des quintes et octaves parallèles, résolution des dissonances, conduite des voix.

Les limites des systèmes basés sur les règles justifient l’exploration de techniques probabilistes capables de mieux s’adapter aux variations musicales. On peut adopter des modélisation différentes pour mieux représenter d’autres aspects d’une partition.

## 3.2 Approches probabilistes et interpolation

Les modèles probabilistes, notamment les Modèles de Markov Cachés (HMM), ont introduit une nouvelle perspective dans l'harmonisation automatique. Ces modèles capturent les relations statistiques entre les progressions d'accords, permettant une approche plus nuancée que les systèmes basés sur des règles fixes.

*Ajout figure HMM / analyse sur contraintes computationnelles*

Le travail de Raczynski et al. présente une avancée significative avec l'introduction de modèles probabilistes interpolés. Cette approche combine plusieurs sous-modèles, chacun spécialisé dans un aspect particulier de l'harmonisation : progression harmonique, relation mélodie-harmonie, et structure rythmique.

Les outils mathématiques semblent particulièrement adaptés à la génération d'harmonisation, c'est pourquoi d'autres chercheurs explorent constamment d'autres types de modélisation mathématiques et numériques.

## 3.3 Représentations structurées et grammaires

L'utilisation de grammaires non contextuelles pour l'harmonisation représente une approche sophistiquée qui capture la nature hiérarchique de la musique. Cette méthode, exemplifiée par les travaux de Tsushima et al., modélise les progressions harmoniques comme des structures arborescentes.

*Ajout figure structure arborescente / analyse sur contraintes computationnelles*

L'algorithme basé sur Metropolis-Hastings permet d'explorer efficacement l'espace des solutions possibles tout en maintenant la cohérence structurelle. Cette approche intègre naturellement les aspects rythmiques et les fonctions harmoniques dans un cadre unifié.

Pour comparer ces approches, il est essentiel de définir des critères d'évaluation objectifs et perceptifs. Cela permettra de mesurer leur pertinence et d'évaluer leurs applications pratiques.



## Chapitre 4

# Évaluation des méthodes d'harmonisation

Ce chapitre propose une présentation des techniques d'évaluation des méthodes d'harmonisation en définissant des critères, des protocoles expérimentaux. On fera ensuite une analyse comparative des méthodes présentées plus tôt pour mesurer leur efficacité et leurs limites.

### 4.1 Critères d'évaluation

L'évaluation des systèmes d'harmonisation automatique repose sur plusieurs critères complémentaires. Les mesures objectives incluent la précision (pourcentage d'accords correctement prédits) et le rappel (capacité à identifier toutes les progressions harmoniques pertinentes). Ces métriques sont complétées par des évaluations perceptives réalisées par des experts musicaux.

Pour appliquer ces critères, des méthodologies robustes et des datasets de référence pertinents sont nécessaires.

### 4.2 Méthodologies

Les protocoles expérimentaux s'appuient sur des datasets de référence, incluant des corpus de musique annotée. Ces collections permettent de comparer objectivement différentes approches sur un même ensemble de mélodies.

La méthodologie développée par Raczynski et al. pour l'évaluation des modèles probabilistes interpolés établit un standard rigoureux. Elle combine validation croisée sur le corpus d'entraînement et tests sur un ensemble de validation indépendant.

### 4.3 Comparaison des approches

L'analyse comparative révèle les forces et faiblesses de chaque approche. Les systèmes basés sur des règles excellent dans le respect des conventions harmoniques mais manquent de flexibilité. Les modèles probabilistes offrent plus de variété mais peuvent parfois générer des progressions moins conventionnelles.

*Ajout comparaison + poussée (tableau, graphique, quelle méthode pour quel besoin etc.)*

Les outils et applications présentés ci-dessous illustrent comment les concepts et méthodes explorés peuvent être mis en pratique pour répondre à des besoins variés, allant de l'éducation à la création musicale.

## Chapitre 5

# Implémentations et applications

Ce chapitre explore les outils logiciels et applications pratiques qui mettent en œuvre les concepts étudiés, tout en évaluant leur impact dans des contextes réels tels que l'éducation musicale ou la création artistique.

### 5.1 Outils et frameworks

Plusieurs outils logiciels implémentent les concepts théoriques présentés précédemment. EMI et MTHarmonizer représentent deux approches différentes de l'harmonisation automatique. EMI privilégie une approche basée sur des règles strictes, tandis que MTHarmonizer intègre des techniques probabilistes plus flexibles.

Ces outils trouvent des applications concrètes dans divers domaines, allant de l'enseignement à la composition musicale.

### 5.2 Applications pratiques

Les applications de l'harmonisation automatique couvrent un large spectre, de l'éducation musicale à la composition assistée par ordinateur. Dans le domaine pédagogique, ces outils offrent aux étudiants la possibilité d'explorer les principes harmoniques de manière interactive.

Le logiciel développé par Algomus illustre particulièrement bien le potentiel de ces applications. Son interface intuitive et ses capacités d'analyse en temps réel en font un outil précieux tant pour l'enseignement que pour la création musicale.

Les implémentations montrent que la théorie peut être transformée en outils fonctionnels. Ces applications concrètes démontrent la viabilité des approches théoriques étudiées et ouvrent la voie à de nouvelles possibilités dans le domaine de l'harmonisation automatique.

## Chapitre 6

# Conclusion

Ce mémoire a exploré les avancées récentes dans le domaine de l’harmonisation automatique des mélodies, avec un accent particulier sur les méthodes ne nécessitant pas d’apprentissage profond. Les approches basées sur des règles, bien qu’ancrées dans la tradition musicale, offrent une transparence et une compréhension immédiate des résultats. En revanche, les modèles probabilistes et les grammaires structurées apportent une flexibilité et une richesse d’harmonisation qui répondent mieux à la diversité musicale contemporaine.

Les outils et applications examinés illustrent comment ces méthodes peuvent être mises en pratique pour enrichir la création musicale et l’éducation. Toutefois, plusieurs défis subsistent, notamment l’évaluation standardisée des performances et l’intégration de méthodes interactives et explicables.

L’avenir de l’harmonisation automatique réside probablement dans des approches hybrides qui combinent la rigueur des règles traditionnelles avec la souplesse des modèles probabilistes et l’efficacité de l’apprentissage par faible supervision. Ces systèmes pourraient non seulement améliorer la qualité des harmonisations, mais aussi faciliter l’appropriation par des publics variés, du compositeur à l’étudiant en musique.



## Chapitre 7

# Fiche n°1

### 7.1 Description de l'article

**Titre de l'article :** Automatic Melodic Harmonization : An overview, challenges and future directions

**Lien de l'article :** [articles/Automatic Melodic Harmonization.pdf](#)

**Liste des auteurs :** Dimos Makris, Ioannis Karydis et Spyros Sioutas

**Affiliation des auteurs :** Department of Informatics, Ionian University, Greece

**Nom de la conférence / revue :** Trends in Music Information Seeking, Behavior, and Retrieval for Creativity

**Classification de la conférence / revue :** Ni une conférence, ni une revue (chapitre d'un livre)

**Nombre de citations de l'article (quelle source ?) :** 11 (Goggle Scholar), 9 (Semantic scholar), 10 (Igi global)

## 7.2 Synthèse de l'article

**Problématique** Il faudrait être capable, à partir d'une ligne mélodique, de générer la suite d'accords correspondante ou tout au moins les suites d'accords les plus probables. Il y a beaucoup de littérature sur le sujet et donc beaucoup de techniques différentes, il faudrait donc être capable de s'orienter dans cette littérature. L'article explore les fondements et évolutions des différentes méthodes pour réaliser cette tâche.

**Pistes possibles (pointées par les auteurs)** Deux angles d'approche y sont exposés : le premier est celui de créer un accompagnement harmonique pour une mélodie soprano tandis que le deuxième détaille l'approche de compléter les voix manquantes à partir d'une ligne de basse dans le cadre de l'harmonisation à quatre parties.

**Question de recherche** Quelles sont les techniques de référence, leurs fondements et leurs évolutions pour retrouver une harmonisation en partant d'une ligne mélodique soprano ou d'une ligne de basse ?

**Démarche adoptée** L'article fait une revue de l'état de l'art de ce domaine et parcourt les différentes approches conceptuelles de celui-ci. Il commence par présenter et placer le thème dans son champ de recherche puis il y présente les différentes approches en soulignant les différences méthodologiques et l'impact des nouvelles représentations de la musique dans ce champ de recherche. C'est un plan chronologique, découpé en "famille" de techniques d'harmonisation. Il y est notamment évoqué des techniques "rule-based" comme l'algorithme EMI, les HMM (couplés avec un ensemble de règles), les grammaires, les méthodes évolutionnaires, le parsing de structures de données (notamment des arbres).

**Implémentation de la démarche** Chaque méthode d'harmonisation est présentée simplement, parfois avec des schémas, et l'auteur redirige systématiquement vers les articles de référence et les chercheurs à l'origine de ces approches (ce qui fait de cet article un excellent point d'entrée dans le domaine). L'auteur y présente aussi des systèmes interactifs, des logiciels générant cette harmonisation en se basant sur les saisies de l'utilisateur, en décrivant à chaque fois brièvement les techniques utilisées pour les prédictions.

**Les résultats** La conclusion de cet article est que la recherche d'harmonisation du modèle traditionnel "four-part harmonization" continue d'évoluer (à la date d'écriture de l'article, 2016) avec l'apport par les chercheurs du domaine de nouvelles idées de représentations, de modélisation et de prédictions. Les articles connexes



---

confirmeront ces résultats et présenteront les approches les plus répandues et / ou les plus contemporaines pour harmoniser une mélodie.



## Chapitre 8

# Fiche n°2

### 8.1 Description de l'article

**Titre de l'article :** Algorithmic Harmonization of Tonal Melodies Using Weighted Pitch Context Vectors

**Lien de l'article :** [articles/Weighted Pitch Context Vectors.pdf](#)

**Liste des auteurs :** Peter Van Kranenburg et Eoin J Kearns

**Affiliation des auteurs :** Utrecht University, Meertens Institute

**Nom de la conférence / revue :** International Society for Music Information Retrieval Conference - ISMIR - 2023

**Classification de la conférence / revue :** A1 sur Conference Ranks

**Nombre de citations de l'article (quelle source ?) :** Article récent et encore non cité

### 8.2 Synthèse de l'article

**Problématique** En musique, derrière la mélodie, se cachent des accords s'harmonisant avec celle-ci. Le but est de déduire cet arrière-plan harmonique à partir de

la notation d'une mélodie. L'article se concentre sur l'harmonisation algorithmique des mélodies tonales, en utilisant des vecteurs de contexte de hauteur pondérée pour produire l'arrière-plan harmonique d'une mélodie à partir de sa notation.

**Pistes possibles (pointées par les auteurs)** L'approche de l'auteur ne nécessite pas d'apprentissage préalable et est basée sur la construction de vecteurs de contexte de hauteur pour chaque note, puis sur l'utilisation de ces vecteurs pour générer des accords candidats et enfin sur le choix du meilleur chemin à travers ces candidats.

**Question de recherche** Comment déduire l'arrière-plan harmonique d'une mélodie en utilisant des vecteurs de contexte de hauteur pondérée sans processus d'apprentissage préalable à partir de sa notation ?

**Démarche adoptée** La démarche ici est de calculer toutes les suites d'accords potentielles à partir des vecteurs de contexte de hauteur pour ne garder que celle qui correspond le mieux.

**Implémentation de la démarche** L'article traite d'abord de la modélisation et de la représentation de la mélodie en utilisant des vecteurs contenant les informations pertinentes et nécessaires. On retrouve la force rythmique, la hauteur et un paramètre dépendant de l'emplacement de la note dans la mélodie. Dans un deuxième temps, on génère les suites d'accords candidates avec des techniques de programmation dynamique à partir de cette représentation. Avec un système de score, on évalue la suite d'accords qui correspond le mieux à la mélodie.

**Les résultats** Les résultats ont été évalués par des experts du domaine, qui ont noté les résultats de 50 mélodies et qui ont donné une note moyenne de 3.52, soit une harmonisation entre largement convenable et acceptable selon les critères de notation.

## Chapitre 9

# Fiche n°3

### 9.1 Description de l'article

**Titre de l'article :** Melody Harmonization With Interpolated Probabilistic Models

**Lien de l'article :** [articles/Probabilistic Models.pdf](#)

**Liste des auteurs :** Stanislaw A. Raczynskia, Satoru Fukayamab et Emmanuel Vincent

**Affiliation des auteurs :** Gdansk University of Technology - Poland, The University of Tokyo - Japan et INRIA - France

**Nom de la conférence / revue :** Journal of New Music Research - 2012

**Classification de la conférence / revue :** H-index 40 sur SJR

**Nombre de citations de l'article (quelle source ?) :** 37 (Research Gate), 65 (Hal-Inria)

## 9.2 Synthèse de l'article

**Problématique** Cet article explore également l'harmonisation mélodique automatique en utilisant des modèles probabilistes interpolés, le but étant de trouver une suite d'accords à partir d'une mélodie donnée tout en tenant compte de la tonalité, de la structure rythmique et du style musical.

**Pistes possibles (pointées par les auteurs)** Pour prédire cela, les auteurs de l'article proposent une combinaison de plusieurs modèles probabilistes, en se basant sur leurs "entropies croisées" et leurs scores pour les assembler. Ils désignent cela comme une interpolation de modèles.

**Question de recherche** La question posée est donc : comment les différents modèles probabilistes peuvent-ils être combinés efficacement pour harmoniser une mélodie et quelle est leur efficacité une fois combinés pour prédire les accords à partir d'une mélodie ?

**Démarche adoptée** Les auteurs ont donc développé ce modèle basé sur l'interpolation de plusieurs sous-modèles s'occupant chacun d'aspects distincts de l'harmonisation (notamment les progressions d'accords, la relation avec la tonalité, la mélodie).

**Implémentation de la démarche** Ils ont entraîné chaque sous-modèle sur environ 2000 partitions de chansons populaires (les mélodies annotées par les accords) et les ont converties en séquences représentant la tonalité, la mélodie et les accords.

**Les résultats** Le modèle généré a montré une précision de prédiction accrue par rapport à un harmonisateur basé sur des règles. L'amélioration atteint jusqu'à 5 pourcents et montre l'efficacité de cette approche.

## Chapitre 10

# Fiche n°4

### 10.1 Description de l'article

**Titre de l'article :** Function- and rhythm-aware melody harmonization based on tree-structured parsing and split-merge sampling of chord sequences

**Lien de l'article :** [article/Tree Structured Parsing.pdf](#)

**Liste des auteurs :** Hiroaki Tsushima, Eita Nakamura, Katsutoshi Itoyama et Kazuyoshi Yoshii

**Affiliation des auteurs :** Graduate School of Informatics, Kyoto University, Japan

**Nom de la conférence / revue :** International Society for Music Information Retrieval Conference - ISMIR - 2017

**Classification de la conférence / revue :** A1 sur Conference Ranks

**Nombre de citations de l'article (quelle source?) :** 21 (Semantic Scholar)

## 10.2 Synthèse de l'article

**Problématique** Les techniques d'harmonisation basées sur les HMM harmonisent efficacement mais ne décrivent pas explicitement les rythmes, les fonctions harmoniques (les degrés de la gamme) ni la structure hiérarchique des accords, éléments clés dans les théories traditionnelles de l'harmonie.

**Pistes possibles (pointées par les auteurs)** Il est nécessaire de trouver une modélisation pour prédire l'harmonisation qui capture la structure rythmique, les fonctions harmoniques et la structure des accords.

**Question de recherche** Comment déduire l'arrière-plan harmonique d'une mélodie en se basant sur une structure d'arbre hiérarchique, utilisant une grammaire non contextuelle, tout en capturant les rythmes des accords ?

**Démarche adoptée** Les auteurs proposent une structure d'arbre hiérarchisée utilisant une grammaire non contextuelle. L'avantage évoqué est que les règles et la structure de l'arbre peuvent être approchées de manière non supervisée.

**Implémentation de la démarche** L'algorithme proposé est basé sur une version sophistiquée de "Metropolis-Hastings" pour découper et fusionner la mélodie, ce qui a pour rôle de structurer l'arbre et les symboles d'accords, en effectuant une recherche stochastique et une évaluation à plusieurs niveaux de profondeur de la suite d'accords la plus probable.

**Les résultats** Les résultats ont été comparés à ceux obtenus par un HMM. On remarque que la précision de l'harmonisation est bien au-delà de celle obtenue par HMM (environ 22 pourcents contre 16.6 pourcents pour le HMM).



## Chapitre 11

# Fiche n°5

### 11.1 Description de l'article

**Titre de l'article :** Automatic Melody Harmonization with Triad Chords : A Comparative Study

**Lien de l'article :** [article/Triad Chords.pdf](#)

**Liste des auteurs :** Yin-Cheng Yeh, Wen-Yi Hsiao, Satoru Fukayama, Tetsuro Kitahara, Benjamin Genchel, Hao-Min Liu, Hao-Wen Dong, Yian Chen, Terence Leong, Yi-Hsuan Yang

**Affiliation des auteurs :** Yeh, Hsiao, Liu, Dong and Yang are with Academia Sinica - Taiwan, Fukayama is with National Institute of Advanced Industrial Science and Technology - Japan, Kitahara is with Nihon University - Japan, Genchel is with Georgia Institute of Technology - USA, Chen and Leong are with KKBOX Inc. - Taiwan

**Nom de la conférence / revue :** Journal of New Music Research - 2021

**Classification de la conférence / revue :** H-index 40 sur SJR

**Nombre de citations de l'article (quelle source ?) :** 44 (arXiv, ResearchGate)

## 11.2 Synthèse de l'article

**Problématique** Évaluer et comparer différentes méthodes d'harmonisation mélodique automatique, en se concentrant sur la génération d'une séquence d'accords pour accompagner une mélodie.

**Pistes possibles (pointées par les auteurs)** Comparer des modèles avec diverses approches, y compris le matching de templates, des modèles HMM, des algorithmes génétiques, et des modèles d'apprentissage profond.

**Question de recherche** La question est très générale : quelle méthode d'harmonisation mélodique automatique est la plus efficace pour générer des accompagnements harmoniques appropriés pour des mélodies données ?

**Démarche adoptée** Cinq modèles avec des approches différentes ont été sélectionnés et comparés rigoureusement en les évaluant sur un nouveau dataset.

**Implémentation de la démarche** Les auteurs utilisent diverses méthodes, comme par exemple des modèles basés sur l'apprentissage profond, d'autres basés sur les algorithmes génétiques, d'autres encore basés sur les HMM, et enfin certains basés sur le template matching.

**Les résultats** Les modèles d'apprentissage profond se sont révélés plus performants, offrant une meilleure harmonisation que les autres méthodes. Un modèle multitâche (MTHarmonizer) a particulièrement bien performé, générant des progressions d'accords plus diversifiées et intéressantes.

## Annexe A

# Grille d'analyse

	Approche	Méthodologie	Question traitée	Entrée	Sortie	Représentation Musique
Makris [2016]	Etat de l'art	Revue de l'état de l'art présentant les auteurs, les représentations musicales et les technique de prédictions	Présenter les techniques d'harmonisation "four-part"	-	-	-
Kranenburg [2023]	Technique d'harmonisation avec vecteurs de contexte	Programmation dynamique	Prédire l'harmonisation d'une mélodie tonale	Mélodie tonale	Accords harmonisés	Vecteurs de contexte de hauteur
Tsushima [2017]	Technique d'harmonisation avec structure d'arbre	Utilisation d'une modélisation hiérarchique et de grammaire non contextuelle, Algorithme "Metropolis Hasting"	Prédire une harmonisation en se basant sur les rythmes, les fonctions harmoniques	Mélodie, informations rythmiques	Séquences d'accords structurées	Arbre avec structure rythmique, fonctions harmoniques
Raczyński [2013]	Technique d'harmonisation avec modèles interpolés	Combinaison de modèles probabilistes	Prédire une harmonisation en tenant compte des tonalités, et des rythmes	Mélodie, contexte tonal et rythmique	Séquences d'accords, tonalité ajustée	Séquences représentant tonalité, mélodie
Yeh [2021]	Comparaison de méthodes d'harmonisation	Étude comparative des techniques de prédictions des suites d'accords	Comparer les résultats de divers techniques d'harmonisation	-	-	-

FIGURE A.1 – Analyse comparative des techniques d'harmonisation mélodique.