

**UE de musique (4h) :
Improvisation assistée par ordinateur
et modèles d'automates finis**

Marc Chemillier

Master M2 Atiam (Ircam), 2024-2025

<http://ehess.modelisationsavoirs.fr/atiam/atiam.html>

marc.chemillier@ehess.fr

European Research Council (ERC) projet REACH 2020-2025

Plan du cours n° 1 (1h30)

- Le logiciel d'improvisation Djazz, enquête avec Bernard Lubat
- IA musicales génératives en contexte de musique traditionnelle
- Capteurs de la cithare malgache, réseaux de neurones convolutifs

Plan du cours n° 2 (1h30)

- IA et savoirs autochtones : enquête avec Justin Vali
- Inversion mélodie/harmonie : harmonisation automatique

Plan du cours n° 3 (1h)

- Démonstration du logiciel Djazz
- Projet d'expérimentation de Djazz sur le rap

COURS n° 1 (1h30)

1. Le logiciel d'improvisation Djazz, enquête avec Bernard Lubat

1.1 Caractéristiques du logiciel Djazz

<https://www.youtube.com/watch?v=tsTI2M0OBWg&t=217s>

Solo d'ordinateur sur le morceau « Save The Earth » du guitariste malgache Charles Kely Zana-Rotsy, enregistré le 13 mars 2018 (avec Julio Rakotonanahary, basse, voix, Fabrice Thompson, percussions). Film: <http://bit.ly/FilmEHESCharlesKelyZana-RotsyDjazz>

L'apprentissage de Djazz dans ce solo a été fait à partir d'une transcription du pianiste de jazz Brad Mehldau :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/7043331222591835398>

Basé sur une **pulsation régulière**, Djazz recombine des séquences enregistrées dans sa mémoire comme le fait un improvisateur lorsqu'il s'entraîne. Le logiciel est donc bien adapté pour faire de l'improvisation **idiomatique** liée à un contexte culturel avec des musiques pulsées (permettant notamment la danse). Un enjeu majeur est d'obtenir un résultat **acceptable** pour les musiciens de cette culture, comme on le verra plus loin. Le logiciel est actuellement reprogrammé par **Daniel Brown** en Max/MSP pour être distribué gratuitement fin 2024 (<http://digitaljazz.fr>).

1.2 Pulsation et harmonies

Djazz peut capter ce que joue un musicien **en direct** et recombinaison les séquences enregistrées en tenant compte du rythme et des harmonies. Les recombinaisons se font avec un modèle léger d'**automate fini** (pas d'apprentissage profond). Il peut aussi se baser sur des données pré-enregistrées qui peuvent être **MIDI** ou **audio**.

<https://www.youtube.com/watch?v=J52SEoHvx1o>



La pulsation est groupée en deux niveaux (**grille**) :

- cases du Launchpad (approx. « mesures »)
- onglets Launchpad (chapitres refrains-couplets)

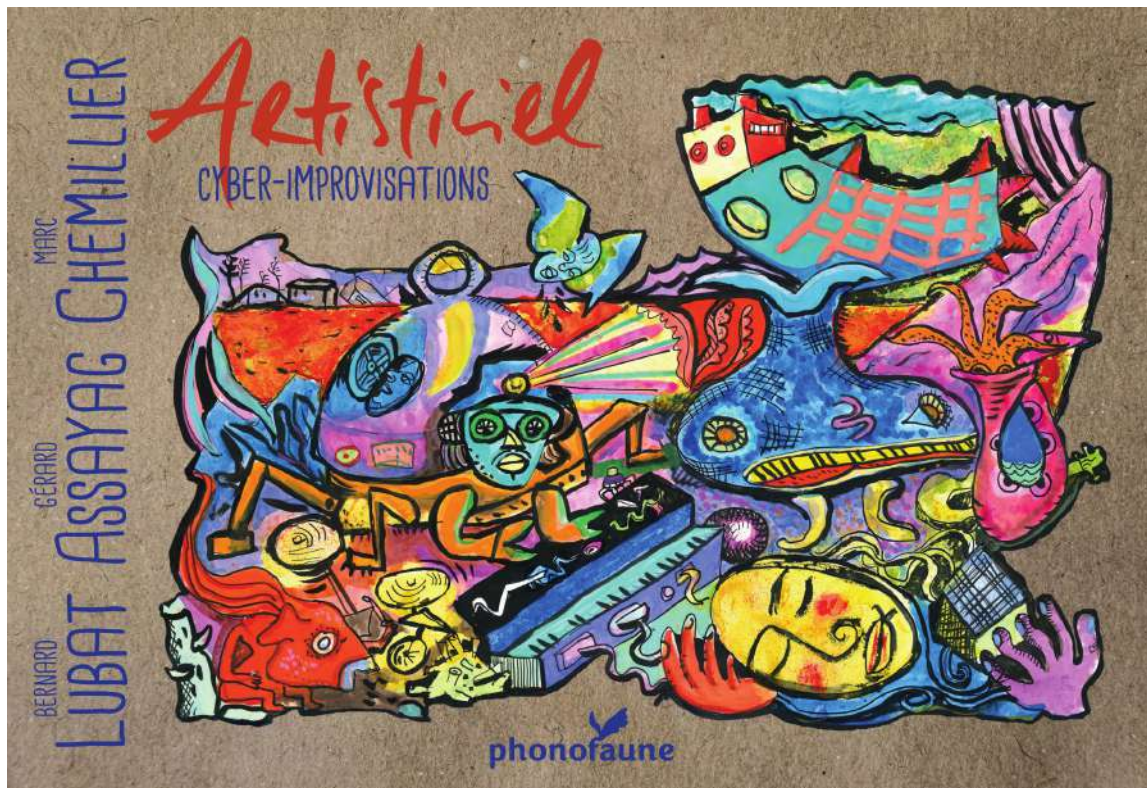
Grâce à ces deux types de boutons, l'utilisateur de Djazz peut **se recalier** avec des musiciens live. C'est nécessaire

- quand la pulsation est partagée entre plusieurs musiciens live (vidéo « Save The Earth » ci-dessus) avec parfois des flottements qui nécessitent de se re-synchroniser,
- quand elle est donnée par la machine (2ème vidéo avec Bernard Lubat) et que le musicien se décale parce qu'il n'entend pas bien le groove.

Djazz peut aussi « oublier » la pulsation pour faire de **l'improvisation libre** (on fixe une

pulsation arbitraire qui sert de **grain** pour la recombinaison comme des sortes de pixels) :

<http://digitaljazz.fr/2021/05/27/artisticiel/>



1.3 Interactions manuelles (Launchpad)

Du point de vue co-créatif, Djazz est plus proche de **l'instrument « intelligent »** que de **l'agent** (pas « d'écoute artificielle » sauf la captation en direct). Mais il peut intégrer l'écoute de l'utilisateur en apprentissage supervisé

- on joue soi-même sur un instrument,
- on réécoute ce que le logiciel a capté
- on évalue les données (bons ou mauvais).

La recombinaison de Djazz se fait ensuite en privilégiant les bons passages.

Djazz permet à l'utilisateur d'agir instantanément dans l'improvisation (**réactivité**) :

- touches de mesures/chapitres pour jouer des séquences particulières (phrases à l'unisson avec les musiciens live)
- en participant soi-même au processus de recombinaison (touches changeant de zone de mémoire)
- en transformant en temps réel les séquences de Djazz (touches de bouclages/accélération)

1.4 Transformations manuelles sur le morceau « Cécile, ma fille »

<https://www.youtube.com/watch?v=WHQaHkd5koM>

Solo de Bernard Lubat sur « Cécile ma fille » (C. Nougaro) qui est ensuite disloqué par l'ordinateur (accélération, superposition polyphonique), puis commentaires de Lubat, février 2013.

1.5 Enquête avec Bernard Lubat : appréciations sur ces transformations

<https://www.youtube.com/watch?v=4ZwWrU3BHRU>

Transformations (bouclage, accélération) dans une improvisation de l'ordinateur sur le morceau « J'aime pour la vie », et commentaires de Bernard Lubat, 11 novembre 2011. Problème du motif « tico tico » résultant de notes mal articulées par le musicien humain mais qui sont ensuite multipliées par la machine.

1.6 Notion de « trombinaison » conceptualisée par Bernard Lubat

Bernard Lubat : « *Au lieu de recombinaison, il faudrait « **retrombiner** » [= déformer], c'est-à-dire tiiiioupdadadi... Comme nous le faisons quand le doigt passe à côté ou joue une appoggiature qu'on n'avait pas prévue et dont on fait quelque chose. Dans tous les chorus [i.d. solo exécuté par un musicien sur une grille] tu as ça, à part les mauvais qui sont parfaits. C'est le défi pour que la machine joue vraiment. Les endroits où ce n'est pas intéressant, c'est parce que ce sont des erreurs naïves, alors que quand l'improvisateur fait des erreurs, il subjectivise, il ne s'excuse pas. Là ça prend la tête ces erreurs, c'est de la mauvaise musique.* »

extrait de :

Marc Chemillier, Jérôme Nika, « Étrangement musical » : les jugements de goût de Bernard Lubat à propos du logiciel d'improvisation ImproteK, *Cahiers d'ethnomusicologie*, vol. 28, 2015, pp. 61-80.

<https://journals.openedition.org/ethnomusicologie/2496>

2. IA musicales génératives en contexte de musique traditionnelle

2.1 Cithare malgache dans une séance de possession

La cithare marovany de Madagascar est jouée dans les séances de transe de possession pendant des heures. L'étude de l'improvisation à cette échelle de temps nous a conduits à utiliser des **capteurs MIDI** sur la cithare. Vidéo d'une séance de possession *tromba* dans le Sub de Madagascar filmée en août 2000 par Victor Randrianary avec le cithariste Velonjoro.

<http://digitaljazz.fr/multimedia/clesdecoute/madagascar/marovany-1-transe>



2.2 Contramétricité dans le rythme du hochet malgache

voir analyse dans l'article:

Marc Chemillier, Julien André, Jean Pouchelon, Jérôme Nika, La contramétricité dans les musiques traditionnelles africaines et son rapport au jazz, *Anthropologie et Sociétés* 38(1), 2014, pp. 105-137, <https://hal-mnhn.archives-ouvertes.fr/hal-01059314/document>

Expérience de battue avec le public lors d'un concert à Marseille en 2019 :

<https://www.youtube.com/watch?v=nLxLn-0B3ts&t=256s>

Vidéo du hochet joué au ralenti :

<http://digitaljazz.fr/multimedia/clesdecoute/madagascar/marovany-4-ralenti/>

2.3 Dialogue entre la cithare malgache et l'ordinateur Djazz

<https://www.youtube.com/watch?v=fJXLcTmDnXs>

Dialogue entre la cithare de Velonjoro et l'ordinateur avec un son de piano, 10 juillet 2014. Le musicien valide par un mouvement de son pouce les productions de la machine.

Entretien avec Velonjo pour valider des transformations appliquées par la machine (bouclage, accélération) au jeu de Velonjoro.

voir entretien dans:

Marc Chemillier, De la simulation dans l'approche anthropologique des savoirs relevant de l'oralité : le cas de la musique traité avec le logiciel Djazz et le cas de la divination, *Transposition. Musique et sciences sociales*, Hors-série 1, Musique, histoire, société, 2017, <https://journals.openedition.org/transposition/1685>

Duo avec le cithariste malgache Velonjoro. Cet enregistrement a été effectué en mai 2016 six mois avant le décès de Velonjoro survenu en janvier 2017. D'une certaine manière le logiciel Djazz garde une trace du jeu de Velonjoro comme une sorte d'avatar sonore et introduit une nouvelle forme de présence musicale assez troublante (voir plus loin).

<http://digitaljazz.fr/2019/07/20/virtual-duet-with-a-zyther/>

voir article :

Marc Chemillier, The smile of Velonjoro. Bi-musicality and the use of artificial intelligence in the analysis of Madagascar zither music, submitted to *Analytic Approach to African Music*, 2022.

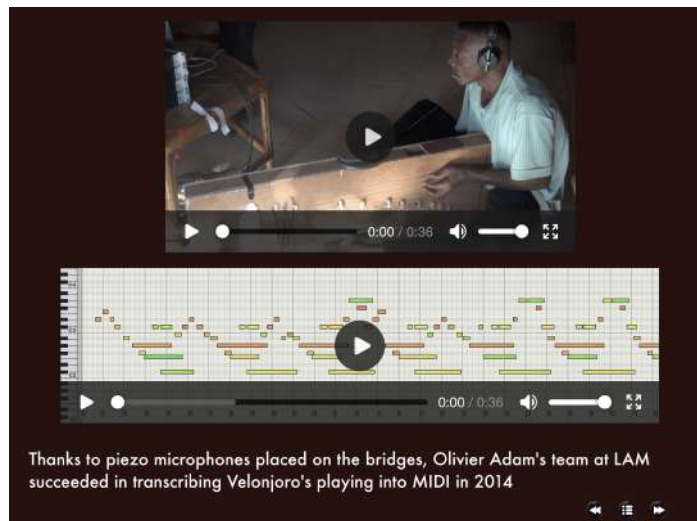
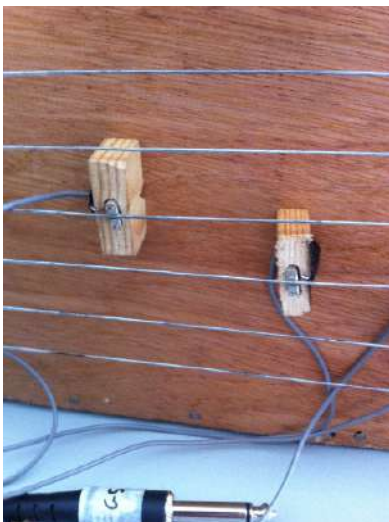
<http://ehess.modelisationsavoirs.fr/marc/publi/Analytic%20Approach%20African%20Music-Chemillier.pdf>



3. Capteurs de la cithare malgache et réseaux de neurones convolutifs

3.1 Transcription MIDI de la cithare malgache

Avec Olivier Adam au LAM, nous avons utilisé des micros piezo placés entre les cordes et les chevalets (thèse de Dorian Cazau en 2015, mémoire M2 de Linda Rahaoui en 2024). L'enregistrement se fait en écoutant un hochet pour avoir une grande **précision rythmique** dans les données MIDI qui ont permis d'entraîner Djazz. Le critère d'acceptabilité était de pouvoir **jouer en duo** avec le cithariste Velonjoro comme indiqué plus haut. Captation sur le morceau « Sojerina » de Velonjoro effectuée le 7 juillet 2014.



3.2 Réseaux de neurones convolutifs

La transcription effectuée par Linda Rahaoui se fait avec des réseaux de neurones convolutifs CREPES_NOTES (détection de transitions dans la fréquence fondamentale f0) et MADMOM (détection d'onsets). Elle nécessite une correction manuelle du résultat (en ralentissant le signal à 30%), mais les résultats produits par les CNN sont une base de départ très utile car ils captent la précision rythmique du jeu du cithariste.

Linda Rahaoui, *Transcription Automatique avec CNN pour la cithare Malgache Marovany*, mémoire M2, Sorbonne Université, Institut Jean le Rond d'Alembert, 2024.

COURS n° 2 (1h30)

4. IA et savoirs autochtones : enquête avec Justin Vali

4.1 Duo posthume de Velonjoro avec le cithariste world music Justin Vali

Velonjoro est décédé en janvier 2017. Plusieurs années après, dans le cadre du projet REACH, Justin Vali a écouté les enregistrements de Velonjoro et a eu envie de jouer en duo avec lui grâce à Djazz :

<http://digitaljazz.fr/2023/06/19/videos-djazz-avec-justin-vali/#sojerina>

Commentaire de Justin Vali sur ce duo « virtuel » (16 octobre 2022)

*« Pour moi, ce n'est pas évident, ni pour tous les citharistes. Peut-être même des joueurs vezo [gens du Sud-Ouest de Madagascar], par exemple Bekamby [un grand cithariste vezo décédé], ils ne jouent pas aussi vite que Velonjoro. [...] Pendant qu'on n'est pas encore complètement vieux, j'ai envie d'exploiter la rapidité, c'est mon défi. [...] Parfois, quand je suis là-dedans, ça va tout seul. Mais dès que je commence à réfléchir, je suis perdu [...]. Peut-être qu'il faut que je demande à son **esprit** [de Velonjoro] pour qu'il m'aide un petit peu à faire son morceau parce que c'est génial ».*

Ses réactions montrent qu'à l'intérieur d'un contexte culturel, il peut exister des sous-contextes avec leurs caractéristiques («normes culturelles») :

- Velonjoro est antandroy (Sud de Madagascar, tempos très rapides)
- Justin Vali est merina (Hautes-terres du centre, tempos plus lents)

4.2 Préjugés « décoloniaux » sur la compatibilité entre IA et savoirs autochtones

Certains préjugés « décoloniaux » consistent à voir des relations de domination dans toute forme de confrontation entre les savoirs occidentaux et les savoirs autochtones. A l'opposé de cette vision, les propos de Justin Vali montrent son intérêt pour l'apport de

l'IA aux savoirs musicaux traditionnels (entretien réalisé le 24 mai 2024 pour les Conversations sous l'arbre des 6-7 juin 2024 au Domaine de Chaumont-sur-Loire) :

« Quand j'étais petit à Madagascar, dans les montagnes, je prenais des instruments comme la petite guitare kabosy, j'entendais les sons qui viennent de la nature, des montagnes, de la forêt, de l'arbre. C'est pour moi une vibration qui va aider notre cerveau à réagir, à retrouver la paix, la tranquillité. C'est comme pour n'importe quelle musique, que ce soit la musique numérique, la musique acoustique, même la musique de l'intelligence artificielle, tout cela fait partie de la nature. C'est la nature qui nous aide, les musiciens, qui aide les instruments traditionnels ou les instruments modernes à créer les sonorités. [...] Je ne pense pas du tout que la technologie nuise à la nature, car on utilise le même magnétisme. [...] Le problème pour les êtres humains, c'est qu'ils n'ont pas assez étudié. Ils ont étudié seulement pour que la technologie fasse le maximum pour être plus forts, ils ont étudié ce qu'il faut pour être le plus fort. C'est pour cela que j'aime bien notre métier en tant que musicien. Nous, on étudie la musique, on essaie de faire de la recherche pour donner du bonheur au public, pour l'équilibre de la nature. Les êtres humains font tout pour la concurrence, même si cela brise les étapes et les lois de la nature, ils le font quand même. [...] Si tout le monde utilisait les technologies pour la musique, ce serait mieux ».

Marc Chemillier, Combinatoire des mots et musiques traditionnelles, *Tangente*, dossier L'ethnomathématique, à la croisée des disciplines, n° 219, septembre-octobre 2024, p. 18-21.

Marc Chemillier, Musique, combinatoire des mots et improvisation par ordinateur, Maths & Musique #3, CNRS Mathématiques, 4 juillet 2024 :

<https://www.insmi.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/maths-musique-3-musique-combinatoire-des-mots-et-improvisation-par-ordinateur-par-marc>

5. Inversion mélodie/harmonie : harmonisation automatique

5.1 L'oreille d'Hermeto Pascoal et son langage harmonique

Le grand musicien brésilien Hermeto Pascoal doué d'une oreille exceptionnelle détecte une mélodie dans la voix d'Yves Montand et l'harmonise dans son style :

<https://www.youtube.com/watch?v=SrgveUpwCnM>

Séminaire de l'EHESS « Modélisation des savoirs musicaux relevant de l'oralité » avec Jovino Santos Neto, ancien pianiste du groupe d'Hermeto Pascoal, qui parle des conceptions harmoniques d'Hermeto et du *Calendario do som* :

<http://ehess.modelisationsavoirs.fr/seminaire/seminaire12-13/seminaire12-13.html#jovino>

5.2 Harmonisation automatique avec Djazz dans le style d'Hermeto Pascoal

Au lieu de calculer des solos suivant une certaine séquence harmonique, Djazz peut aussi calculer des enchaînements d'accords suivant une certaine séquence mélodique. Du point de vue informatique, il suffit de changer les données envoyées en entrée du logiciel : à la place d'une grille harmonique, on donne une suite de motifs mélodiques. L'apprentissage est fait sur des extraits du *Calendario do som* découpés en pulsations que l'on représente sous forme de couples (notes mélodiques utilisées, chiffrage de l'accord).

Marc Chemillier, Jean-Pierre Cholleton, Le langage harmonique d'Hermeto Pascoal et son apprentissage par une intelligence artificielle. Conversation avec Jovino Santos Neto, livre sur Hermeto Pascoal à paraître en 2025, preprint :

<http://ehess.modelisationsavoirs.fr/marc/publi/Chemillier&Cholleton-Article%20Hermeto.pdf>

Vidéo TikTok d'harmonisation d'une mélodie que le pianiste de jazz Herbie Hancock a proposé au jeune musicien britannique Jacob Collier pour son challenge #IHarmYou consistant à harmoniser les mélodies proposées par des chanteurs du monde entier :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/6955529707861396742>

Vidéo TikTok d'harmonisation dans le style d'Hermeto du bruit de grincement d'une porte :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/6962589198683589893>

5.3 Autres vidéos de Djazz avec des musiciens de TikTok

TikTok a favorisé la réalisation de chorégraphies amateur sur des musiques connues. En retour, les musiciens ont investi TikTok pour créer des musiques sur des chorégraphies.

Exemple d'improvisation piano/Djazz en rythme avec une vidéo de pingouins :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/7011622607472659717>

Sélection par **apprentissage supervisé** : les riffs de piano house sont joués au clavier, puis sélectionnés en leur attribuant une pondération selon qu'ils sont jugés plus ou moins bons. Dans cette vidéo TikTok, l'ordinateur improvise en suivant le rythme des pingouins avec des phrases qui ont été sélectionnées par ce processus d'évaluation, ce qui améliore considérablement l'improvisation produite par la machine.

Improvisation piano/Djazz accompagnant une chorégraphie déjantée de Cale Brown (7,3 millions d'abonnés TikTok en 2024) sur « Rasputin » de Boney M :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/6968953201945038085>

Duo du logiciel Djazz avec une musicienne @_miri_music de TikTok (4150 abonnés en 2024) :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/6960954796216061189>

COURS n° 3 (1h)

6. Démonstration du logiciel Djazz

On peut simplement expérimenter Djazz en parlant dans le micro : Djazz capte la parole et la recombine librement pour créer des polyphonies (par superposition) et des rythmes (par bouclages), voir au début du film sur Djazz réalisé par la Division de l'image et de l'audiovisuel de l'EHESS en 2018 :

<http://bit.ly/FilmEHESSCharlesKelyZana-RotsyDjazz>

7. Projet d'expérimentation de Djazz sur le rap

L'un des buzz récents autour de l'IA concernait la possibilité de créer des chansons en imitant la voix de chanteurs connus :

<https://www.dailymotion.com/video/x8lqeof>

Drake and The Weeknd - "Heart on my sleeve", mai 2023

Si l'on donne en entrée à Djazz un flow de rap, on peut obtenir une parole rythmée, mais on perd l'aspect sémantique, non seulement l'aspect punch line, mais aussi l'aspect rythmique produit par les mots eux-mêmes comme les allitérations pratiquée par le rappeur Kacem Wapalek virtuose du genre :

<https://www.facebook.com/watch/?v=783856892375955>

Freestyle lent, instrumental by Hako

Vidéo TikTok de Djazz reprenant le flow de SCH :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/6990799047556697350>

Vidéo TikTok de Djazz reprenant le flow de Houari dans « Bande organisée », avec sous-titrage des paroles prononcées par la recombinaison de Djazz. Certaines expressions générées par la machine comme « fume la mèche » ont acceptables sémantiquement bien qu'elle diffèrent de l'original qui dit « allume la mèche » :

<https://www.tiktok.com/@digitaljazz/video/7037394373763452166>

Pour en savoir plus :

- Séminaire de l'EHESS « Modélisation des savoirs musicaux relevant de l'oralité »

<http://ehess.modelisationsavoirs.fr/seminaire/seminaire23-24/seminaire23-24.html>

- Séminaire de l'EHESS « Approches pluridisciplinaires du rap »

<http://ehess.modelisationsavoirs.fr/rap/rap23-24/rap23-24.html>

Vous pouvez aussi vous inscrire à la liste de diffusion (contact@digitaljazz.fr) pour être informé des actions liées à Djazz, notamment la **distribution gratuite du logiciel**.