

Projet « Harmonics » : Mathématiques, perception de la musique, improvisations et compositions.

Frédéric Faure, Malik Mezzadri, Alexandre Ratchov, Bo VanderWerf

13 avril 2023

Résumé

C'est un **projet de recherche** soutenu par **l'Université Grenoble Alpes (UGA) et l'IDEX** en 2023-2024. Ce projet est une collaboration entre deux musiciens Malik Mezzadri, Bo VanDerWerf, un informaticien Alexandre Ratchov et un mathématicien/physicien Frédéric Faure. Ce projet est basé sur **l'exploration et l'utilisation de la musique juste** et a pour objectif de développer de nouvelles approches pour la **composition, l'improvisation et l'analyse musicale** ainsi que pour la **présentation musicale sur scène**. En plus de rendu sous forme de **répétition ouverte, concert, album, article de recherche**, on propose aussi une partie **conférence** (explications), **ateliers (master class)** avec des étudiants.

Table des matières

1 Participants	2
2 Thème de recherche du projet : la musique juste sur le tonnetz	2
2.1 La musique juste sur le tonnetz	3
2.2 Développement de logiciels pour la recherche, la composition et les concerts (live).	5
3 Objectifs	6
4 Calendrier des rencontres de travail et concerts	6

Remarque 0.1. Pendant la lecture de ce document pdf, vous pouvez suivre les liens internet en couleur.

1 Participants



La richesse de notre collaboration provient de la diversité des participants (artistes et scientifiques) :

- **Malik Mezzadri** (Magic Malik), flûtiste de Jazz (Paris) de renommée internationale. Lauréa du prix de Rome de la villa medicis 2010.
- **Bo VanderWerf**, saxophoniste de Jazz (Brussel), de renommée internationale.
- **Alexandre Ratchov**, informaticien, Grenoble, spécialiste de la MAO (musique assistée par ordinateur) en temps réel, développeur de **sndio** pour OpenBSD et d'un effet reverb logiciel **ArVerb**.
- **Frédéric Faure**, Institut Fourier (mathématiques), UFR phitem de physique, **UGA**, spécialité en théorie des systèmes dynamiques, du chaos, des ondes quantiques et classiques, musicien amateur. Enseignant-chercheur de physique/mathématique, enseigne en particulier l'**acoustique musicale** au département de musicologie pour les étudiants de **double Licence Physique-Musicologie**. Co-responsable du parcours double Licence Physique-Musicologie.

Les participants se connaissent bien et ont déjà collaboré ensemble :

- Nombreuses collaborations musicales entre Bo VanDerWerf et Malik Mezzadri (**albums**, concerts, résidences et recherche ...)
- Nombreuses collaborations science-musique entre Alexandre Ratchov, Malik Mezzadri et Frédéric Faure (**article**, **résidences et concerts**, nombreuses rencontres)
- **Collaboration récente** entre Bo VanderWerf et Frédéric Faure, autour du sujet de doctorat de Bo VanDerWerf : « *from closed circuit to open circuit : adéquation, intégration et redéploiement des modèles d'organisations harmoniques, rythmiques et mélodiques développés par Messiaen, dans des contextes d'improvisation 'jazz'*. »

2 Thème de recherche du projet : la musique juste sur le tonnetz

A partir de **considérations de psycho-acoustique et de mathématiques**, on propose de re-considérer l'**univers musical de façon nouvelle** sans aucun a priori. L'objectif est de pouvoir découvrir des nouvelles « couleurs et perception musicales » et aussi redécouvrir les règles musicales de diverses cultures mais sous un angle de vie nouveau et éclairant.

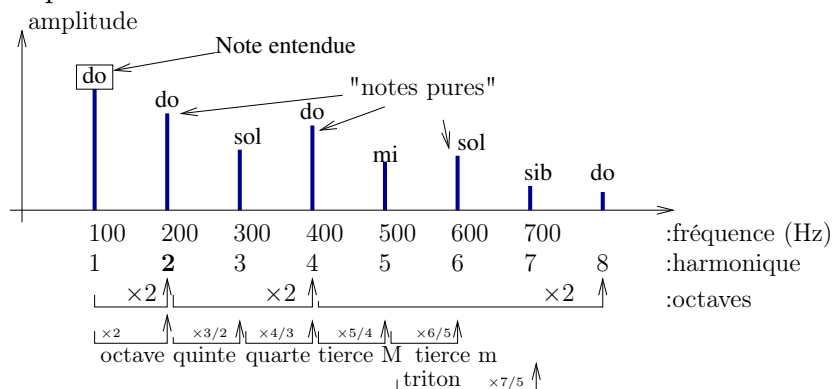
Ce projet s'articule autour d'un thème de recherche principal qui est la « **musique juste** » ce qui signifie les intervalles musicaux présents dans la voix humaines (i.e. entre les harmoniques d'un son voyellé) et donc naturellement perçus et analysés par le système cognitif humain (de façon inconsciente). On souhaite ensuite transformer les résultats de nos recherches en prestations artistiques qui peut varier entre un concert musical, une conférence avec démonstrations musicales, ou des ateliers pédagogiques auprès d'étudiants ou autre public.

2.1 La musique juste sur le tonnetz

La démarche est d'identifier les **mécanismes de la perception auditive** de la voix et de la musique, explorer des pistes musicales harmoniques à partir des **mouvements naturels d'attraction entre intervalles musicaux** (justes ou tempérés), et développer des représentations visuelles les plus naturelles possibles. Cette recherche a été initiée il y a quelques années déjà, dans un projet appelé « flûte quelle équation ? », et ayant donné lieu à des **performances**. Voir les **exposés de Malik Mezzadri** à l'IRCAM et **exposé de Frédéric Faure** et cet **autre exposé**. Cependant la recherche et les réalisations en retour, n'en sont qu'à leurs débuts.

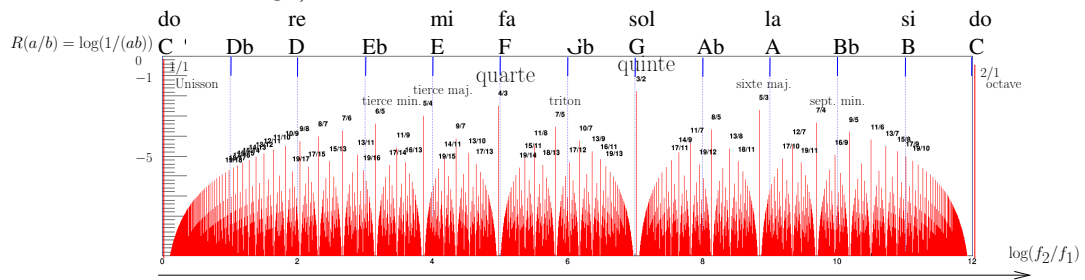
Voici maintenant plus de détails sur cette démarche. Pour rappel, les notes de la **gamme** sont *do, ré, mi, fa, sol, la, si*, aussi notées *C, D, E, F, G, A, B*.

- **Questions** : pourquoi certaines notes jouées ensemble sonnent-elles harmonieusement et les accords formés ont des couleurs si variées ? Quelles sont les fréquences de ces notes qui résonnent ? Y-a-t-il des notes manquantes à la gamme à tempérament égal (utilisée en musique occidentale seulement depuis la fin du XIXème siècle [1, p.197] et absent dans les autres cultures) ? De nouvelles notes pourraient elles avoir un rôle intéressant dans une création musicale ? Comment jouer avec elles ? Voici comment nous proposons d'aborder ces questions [2].
- Le son d'une **voix chantée** ou d'un instrument de musique est un signal périodique et est donc une superposition de **notes pures** (ou sinus) appelées **harmoniques**, situées à des fréquences multiples entiers de la note que l'on entend. Toute cette richesse participe au **timbre de la voix** ou de l'instrument.

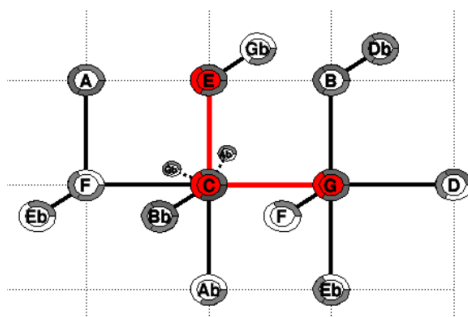


- Nous sommes très sensibles à cette structure (par des mécanismes inconscients en-

core mystérieux [3]), en particulier aux premiers rapports de fréquences qui apparaissent et sont des piliers universels de la musique : $\times 2$: **octave**. $\times 3/2$: **quinte**. $\times 4/3$: **quarte**. $\times 5/4$: **tierce Majeure**. $\times 6/5$: **tierce mineure** $\times 7/5$: **le triton, etc.** On observe ainsi que les intervalles musicaux “résonnants” ou “justes” sont des rapports de fréquences qui sont des **fractions “simples”**. De façon générale, pour tout intervalle juste qui est un rapport de fréquence a/b (**nombre rationnel** irréductible) on lui associe sa “résonance” qui est $R = \log(1/(ab))$: ainsi plus a, b sont petits, plus la résonance est grande. Voici les résonances de tous les intervalles justes $f_2/f_1 = a/b$ compris dans une octave. Ils forment une **fractale** (structure infiniment fine en rouge) :



- En comparaison, le tempérament égal occidental (représenté par les douze traits bleus) est bien adapté pour la quinte et la quarte mais pas pour les autres intervalles justes (traits rouges).
- Alors comment jouer avec ces autres notes ? D’après le **théorème fondamental de l’arithmétique**, chaque fraction a/b se décompose sur les **nombre premiers** $P : 2$ (octave), 3 (quinte), 5 (tierce majeure $1/5$), 7 (septième mineure $-1/3$ ton, utilisée dans le blues), 11 (quarte $+1/4$ ton, utilisée en musique arabe), 13 , etc. Par exemple la tierce mineure (C-Eb) est $6/5 = 2 \times 3/5$. On représente donc les notes par des points sur un réseau entier multidimensionnel \mathbb{Z}^P engendré par ces nombres (ou intervalles musicaux) premiers, initialement décrit par Euler (1739) et appelé **Tonnetz** ou représentation **p-adique** ou **adélique**. Un ensemble résonnant de plusieurs notes, autrement dit **un accord musical juste sera donc comme une molécule compacte dont les atomes sont les notes**. La couleur harmonique de l’accord est déterminé par la forme de cette “molécule”. Ex : l’accord mineur C-Eb-G est un triangle. Sa résonance est la somme mutuelle des résonances des intervalles, un peu comme l’énergie de liaison d’une molécule. On propose une visualisation en temps réel de la musique sur ce réseau Tonnetz (oubliant la dimension $\times 2$ des octaves). Dans la figure suivante (extrait d’un logiciel instrument fonctionnant en temps réel et en cours de développement), les axes correspondent aux facteurs $3, 5, 7$:



Nous souhaitons explorer les possibilités qu’offrent cette représentation des notes, leurs relations rationnelles et propriétés géométriques et faire de la musique à travers des compositions et improvisations de Bo VanderWerf, Magic Malik et autres musiciens. « **Écoutons la musique des nombres premiers ...** »

2.2 Développement de logiciels pour la recherche, la composition et les concerts (live).

Nous souhaitons **rendre pratique et utilisable** les aspects théoriques musicaux présentés dans la section précédente. Pour cela, nous souhaitons **développer un logiciel** (logiciel libre ainsi que des articles et tutoriels), qui permettrait en situation de concert et d’improvisation d’avoir les caractéristiques suivantes :

- Ce logiciel interviendrait comme un **musicien et aussi un compositeur en temps réel** : il **entendrait et comprendrait** ce qui se passe au niveau harmonique (par rapport aux règles présentées dans la section 2.1) et **proposerait différentes nouvelles pistes en temps réel**, et serait attentif au choix que font les musiciens. La composition en temps réel suivrait des règles dynamiques et probabilistes prédéfinies selon des **graphes de Markov** par exemple.
- Pendant le spectacle ce logiciel pourrait **projeter sur grand écran des images en temps réel qui représente et explique la situation harmonique/rythmique** du moment.
- Mise au point d’instruments en musique juste (flûte à coulisse pour M. Malik, EWI, ...), trouver comment jouer de la musique juste contrôlée avec un ensemble d’instruments et **générer des illusions auditives de voix**.

Pour cela il nous faut faire du développement de logiciels qui fonctionnent en temps réel et mettre en œuvre des algorithmes performants d’analyse audio et synthèse audio. Nous utilisons le langage C++ et des bibliothèques audio adéquates en parties développée par Alexandre Ratchov.

Concernant la **lutherie**, i.e. la fabrication de nouveaux instruments ou la modification d’instruments existants permettant de jouer sur des tempéraments arbitraires et dépendant du temps, nous développons les pistes suivantes :

- Utilisation d’instruments midi comme l’**EWI** ou des claviers ou contrôleurs **MIDI**, permettant une connexion directe avec le programme et la synthèse de notes micro-tonales (i.e. à la hauteur calculées et souhaitées par le logiciel en temps réel).

- Faire que le programme interagisse en temps réel avec les musiciens (flûte acoustique, saxophone, voix, guitares etc), détecte leur note et suggère des petites modifications de hauteur de note et de volume pour parfaire la résonance.
- Développer une « **flûte à coulisse** » pour Magic Malik, dont la coulisse serait commandée en temps réel par l'ordinateur et permettrait un ajustement précis de la hauteur de note.

3 Objectifs

- **A l'aide des mathématiques et de l'informatique**, mettre au point des **nouveaux cadres musicaux pour composer et improviser**, éventuellement **analyser la musique existante** avec ce nouveau point de vue. Mise au point et publication de **logiciels et plugins midi/audio VST3** ou autres pour divers environnements de musique assistée par ordinateur MAO (Mac, Windows, Linux, Android, et pour divers logiciels hosts : **Ableton**, **Logic Pro**, **Protools**, **Ardour** etc) que l'on diffuserait.
- **Conférences et performances musicales** sur le campus ouvert à tous. **Ateliers pédagogiques auprès des étudiants**, proposé aux différentes filières de musicologie et de science et autre public intéressé, basé autour de l'utilisation du plugin logiciel et de démonstrations scientifiques et artistiques. **Plan de communication** : via le service culturel **EST** et/ou **MACI** de l'UGA.
- **Articles** de recherche (journaux de musicologie et science).
- Un **documentaire audio/visuel** portant sur les différentes étapes du développement du projet : le développement des idées, les répétitions, les interactions entre artistes musiciens et les scientifiques, les processus de composition et jusqu'à la production d'œuvres musicales enregistrée.
- **Concerts** avec compositions originales, partenariat avec l'**hexagone de Meylan** pour le Biennale art-science **experimenta** et possiblement d'autres manifestations.
- **Enregistrements en studio, albums**. Soutenu par le **label 11h11**.
- **Diffusion des nouveaux concepts** auprès des musiciens et compositeurs.

4 Calendrier des rencontres de travail et concerts

- **Mai 2023** : une résidence artistique à Grenoble avec Bo, Malik, Alexandre, Frédéric.
- **Décembre 2023** : une résidence artistique à Grenoble avec Bo, Malik, Alexandre, Frédéric.
- **Février 2024** : une résidence artistique de 4 jours à Grenoble avec Bo, Malik, Alexandre, Frédéric et 3 autres musiciens (section rythmique piano, basse, batterie), se terminant par **une répétition ouverte à tous, un concert** et une prestation à « **Experimenta** » en **partenariat avec l'Hexagone de Meylan**.

Références

- [1] DJ Benson. Music : a mathematical offering. [pdf version](#).
- [2] F Faure, M. Mezzadri, and F. Ratchov. Analyse et jeu musical en tempérament juste adaptatif. [link](#), 2015.
- [3] Jan Schnupp, Israel Nelken, and Andrew King. *Auditory neuroscience : Making sense of sound*. MIT Press, [webpage](#), 2011.