

UE PROJETS ET APPLICATIONS MUSICALES

ATIAM 2023-2024

1. DESCRIPTIF DE L'UE

Cette UE propose des cours d'ouverture ainsi que des applications et mises en œuvre de l'acoustique, du traitement du signal et de l'informatique dans des problématiques ayant trait à la musique.

Elle a pour objectif central d'amener les étudiantes et étudiants à intégrer des compétences issues de plusieurs champs scientifiques pour une étude appliquée à la musique. Basée principalement sur une pédagogie par projet, elle contribuera à l'apprentissage du travail en groupe et permettra aux étudiantes et étudiants de développer leurs compétences dans une orientation choisie. Enfin, elle ouvrira sur des recherches récentes, notamment en se basant sur des publications du domaine, dont les étudiantes et étudiants pourront être amenés à intégrer les éléments dans un projet.

• ORGANISATION GÉNÉRALE

L'UE comprend une partie projet et une partie cours :

- Les étudiantes et étudiants travaillent en groupe sur un projet. Cette partie projet est décrite dans le point 2 ci-dessous.
- La partie cours comprend des cours de perception (Daniel Pressnitzer, 12h), de méthodes numériques (Stefan Bilbao, 6h) et éventuellement quelques cours complémentaires, en relation avec les sujets de projet proposés. Tous les cours s'adressent à l'ensemble de la promotion.

• BARÈME ET ÉVALUATION DE L'UE

La note finale de l'UE se décompose de la façon suivante :

- note projet : 80%, voir détail dans le point 2 ci-dessous
- note perception : 10%, devoir maison évalué par Daniel Pressnitzer (rendu lundi 22/01/2024)
- note méthode numérique : 10%, devoir maison évalué par Stefan Bilbao (rendu lundi 05/02/2024)

2. PARTIE PROJET

• OBJECTIFS

Les objectifs détaillés servent de référence pour l'évaluation du projet, pour son organisation et son encadrement. Seul le dernier objectif semble délicat à apprécier via l'évaluation, et fera plutôt l'objet d'une appréciation subjective, ne participant donc pas à la note finale de l'UE.

OBJECTIFS GÉNÉREAUX

- croisements entre 2 champs scientifiques autour d'une application musicale
- apprentissages techniques sur l'ensemble des sujets des projets : il est attendu que chaque étudiant intègre des éléments liés au projet sur lequel il travaille, mais aussi à tous les autres projets
- apprentissage par projet : apprentissage en groupe, présentations écrite et orale

OBJECTIFS DÉTAILLÉS

- analyser la littérature spécialisée afin de produire une synthèse de l'état de l'art
- mettre en œuvre des compétences techniques de pointe dans au moins 2 domaines scientifiques, sur une application en lien avec la musique
- présenter par écrit et oralement : une synthèse de l'état de l'art, les résultats obtenus et les apprentissages réalisés
- identifier les outils et difficultés techniques des projets des autres groupes et comprendre les démarches mises en œuvre
- apprendre en groupe : processus de travail en groupe et apprentissage par les pairs

• ÉVALUATION DES PROJETS

ÉVALUATION ÉCRITE

Mini rapport portant sur la biblio

- Ce rapport de 2 à 4 pages a pour objectif de synthétiser l'état des connaissances publiées sur le sujet que vous abordez. Il sera construit sur le modèle : énoncé du problème, mise en valeur des contributions des différents auteurs ou groupes, liste des références étudiées. Ce travail couvrira les références bibliographiques proposées avec chacun des sujets, et pourra s'élargir à de nouvelles références que vous aurez collectées.
- Il est évalué pour chaque projet par les encadrants du groupe

Projet, rapport final

- format article (sujet abordé pendant l'UE d'IP)
- 10 pages hors références, construit sur le schéma : état de l'art – présentation du projet – méthodes et résultats – conclusion et perspectives
- évalué par 4 personnes : 2 encadrants du projet + 2 encadrants d'un autre projet

ÉVALUATION ORALE

Présentation intermédiaire : à charge des encadrant·e·s

Soutenance le vendredi 16 février 2024 :

- présentation en groupe devant l'ensemble de la promotion et les encadrants
- oral individuel sur le sujet d'un autre groupe déterminé par tirage au sort, évalué par les encadrants du sujet concerné

• BARÈME

Les critères d'évaluation sont précisés dans les objectifs détaillés ci-dessus.

Il s'agit bien de projets d'apprentissage : ce sont les connaissances et compétences développés qui sont évaluées et non les productions (algorithmes, données ...).

Projet mené par le groupe (2/3 de la note projet)

- rapport 25 % (synthèse de la note des encadrants et des notes des 2 autres relecteurs)
- encadrants 50 % : évaluation du travail et de l'apprentissage
- soutenance 25 % : évaluation du support de présentation, de la présentation orale, des réponses aux questions

Autres projets (1/3 de la note projet)

- oral individuel
- déterminer si l'étudiant sait identifier les outils et difficultés techniques des projets des autres groupes et comprendre les démarches mises en œuvre

Individualisation de la note finale

Tous les étudiants d'un groupe doivent participer au travail, à la rédaction et à la présentation. Chaque groupe devra s'attacher à donner aux encadrants et au jury la possibilité d'apprécier l'engagement de tous. A priori, la note du projet est donc la même pour tous. Cependant, la note peut être individualisée si un étudiant se détache en bien ou en mal.

• SUJETS

- (1) Analyse d'instruments en situation de jeu – Jean-Loïc Le Carrou, Roland Badeau, Guillaume Doras
- (2) Auto-oscillations des instruments de musique – Thomas Hélie, Christophe Vergez
- (3) Prise de son et séparation de sources musicales – Mathieu Fontaine, Benoît Navarret

Description des sujets en annexe.

• ORGANISATION

L'UE comprend une partie projet et une partie cours. La partie cours comprend les cours de perception, de méthodes numériques et éventuellement quelques cours complémentaires, en relation avec les sujets proposés.

Ces cours complémentaires ont pour objectif de donner une vision synthétique du domaine aux étudiants traitant un projet et de donner aux étudiants travaillant sur les autres projets les éléments de base qui leur permettent d'aborder le travail de leurs camarades. Tous les cours s'adressent donc à l'ensemble de la promotion.

Présentation de l'UE le vendredi 12 janvier 2024 à 10h

- présentation des sujets
- répartition des groupe (5 à 6 personne par projet)

Calendrier, rendus et soutenance des projets

- mini rapport biblio : à déposer sur moodle.ircam.fr au plus tard le vendredi 19 janvier 2024 à 12h
- rapport final : à déposer sur moodle.ircam.fr au plus tard le mardi 13 février 2024 à 18h
- soutenance le vendredi 16 février 2024 :
 - présentation des groupes (30 min par groupe : 15 min de présentation + questions)
 - oraux individuels sur les autres projets

UE PROJETS ET APPLICATIONS MUSICALES / ATIAM 2023-2024 - ANNEXES

1. Analyse d'instrument en situation de jeu par méthodes HR et Machine Learning : paramètres de facture et excitation

DESCRIPTION

L'étude des instruments de musique requière bien souvent l'utilisation de méthodes de mesures plus ou moins intrusives, obligeant bien souvent d'appliquer des conditions aux limites éloignées d'une situation réelle de jeu. Dans le cas des instruments à cordes pincées, l'instrumentiste tient en main l'instrument et interagit quelques millisecondes avec la corde pour la mettre en mouvement. De ce mouvement naît un son contenant à la fois les caractéristiques acoustiques de l'instrument (du corps et des cordes) et les caractéristiques mécaniques de l'instrumentiste (par son pincement). Ne peut-on pas exploiter cette information pour extraire de nombreux paramètres mécaniques pertinents ? Ce sera tout l'enjeu de ce projet. Pour cela, le projet pourra s'appuyer sur une guitare récemment développée dans l'équipe LAM dont les éléments principaux de facture peuvent être aisément modifiés et sur un modèle d'instrument prenant en compte les paramètres de factures et l'excitation. Via une étude paramétrique, le lien entre les paramètres extraits de l'analyse du signal sera ainsi plus facilement effectué. Cette analyse sera effectuée en implémentant une méthode à haute résolution (HR) adaptative basée sur un algorithme de poursuite de sous-espaces (méthode ESPRIT adaptative). Une évaluation quantitative de la robustesse et de la performance par rapport à des méthodes plus classiques pourra être entreprise, notamment sur le modèle paramétrique de l'instrument. In fine, la quantification de l'importance du matériau des cordes, de table, du type d'excitation etc. sera évalué via des descripteurs signaux pertinents. Une classification de ces descripteurs sera entreprise à partir d'une méthode de Machine Learning (type NN) afin de faire un lien avec les paramètres de facture et/ou d'excitation.

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

- être capable d'identifier les propriétés dynamiques d'un système mécanique
- être capable de modéliser un système couplé à partir de systèmes simples : cas d'une corde couplée à une admittance 1D mesurée ou à une base modale extraite
- être capable de modéliser l'excitation d'une corde
- être capable de mettre en œuvre des algorithmes adaptatifs rapides d'analyse HR
- être capable de mettre en œuvre des méthodes de classification à base de Machine Learning

RESULTATS ATTENDUS

- une méthode d'identification robuste et automatique des caractéristiques dynamiques du système - une base de données de sons/vibrations à partir des guitares paramétriques
- un modèle d'instrument avec excitation validé expérimentalement
- une analyse de descripteurs quantifiant l'importance sonore des éléments de lutherie
- une classification des paramètres de facture et/ou des paramètres de jeu de manière automatique

ENCADREMENT

Roland Badeau, Guillaume Doras et Jean-Loïc Le Carrou

BIBLIOGRAPHIE

1. *Harmonic plus noise decomposition: time-frequency reassignment vs. a subspace based method*, B. David, V. Emiya, R. Badeau, Y. Grenier, 120th AES Convention, 2006, Paris.
 2. *A Large Set of Audio Features For Sound Description (Similarity and Classification) in the CUIDADO Project*, G. Peeters, 2004.
 3. J. Antunès et V. Debut. Dynamical computation of constrained flexible systems using a modal Udwadia- Kalaba formulation: Application to musical instruments. The Journal of the Acoustical Society of America 141, pp. 764-778 (2017)
- Pour Aller plus loin**
4. J. Woodhouse. On the synthesis of guitar plucks, Acta Acustica united with Acustica, S. Hirzel Verlag, 2004, 90, 928-944
 5. D. Chadeaux, J-L. Le Carrou et B. Fabre. A model of harp plucking. Journal of the Acoustical Society of America, 133(4), pp. 2444-2455 (2013).
 6. B. David, R. Badeau, G. Richard. *HRHATRAC Algorithm for Spectral Line Tracking of Musical Signals*, Proc. IEEE ICASSP, mai 2006, Toulouse, France.
 7. Badeau, B. David, G. Richard. *Fast Approximated Power Iteration Subspace Tracking*, R IEEE Trans. on Signal Processing, 2005, 53 (8).

2. Auto-oscillations des instruments de musique : modèles, simulations, descripteurs et cartographies

DESCRIPTION

On se propose de programmer, d'analyser et de piloter des modèles physiques de différents instruments (clarinette, saxophone, violon). L'objectif est d'aboutir à une synthèse sonore en temps réel, nourrie par un pilotage pertinent et contrôlée en MIDI. Cependant une difficulté récurrente se pose : quels sont les liens, on parle de « mapping », entre les caractéristiques des sons produits par les modèles, et les paramètres de ces modèles (ceux liés à la géométrie et/ou ceux contrôlés par l'instrumentiste) ?

Grâce à des descriptions simplifiées du fonctionnement de ces instruments une première étape consistera à programmer ces modèles sous Matlab.

Des expérimentations numériques permettront :

- d'écouter les signaux produits, c'est à dire les auto-oscillations de ces modèles.
- de montrer que les paramètres de ces modèles ont une influence très importante sur le comportement du modèle : fréquence, amplitude, régime périodique ou chaotique ...
- de prendre conscience de la difficulté de pilotage des modèles pour obtenir le comportement souhaité.

Pour maîtriser cette diversité de comportements, deux approches seront conduites :

- mise en œuvre d'outils relatifs aux systèmes dynamiques pour comprendre les phénomènes observés : régimes, stabilité, bifurcations, étude énergétique, etc.
- mise en œuvre d'outils de traitement de signal :
 - réalisation de cartographies de descripteurs de signaux audios (énergie, hauteur, etc.) dans l'espace des paramètres du modèle,
 - détermination automatique des frontières entre régimes par apprentissage.

L'analyse des cartographies permettra de proposer un mapping, par exemple en repérant les combinaisons de paramètres qui maximisent justesse et énergie. Ces combinaisons optimales seront alors utilisées dans une version temps réel des modèles qui aura été préalablement programmée dans un environnement adapté comme par exemple : MaxMSP, PureDate, Faust, etc.

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

A l'issue de ce projet, vous devrez être capables de :

- présenter les modèles physiques retenus et les hypothèses sous-jacentes,
- de programmer ces modèles, dans des environnements voués à l'analyse numérique et à la synthèse sonore,
- mettre en œuvre des notions liées à l'étude des systèmes dynamiques (stabilité, bifurcations, etc), au traitement du signal (descripteurs) et à l'informatique (apprentissage supervisé, programmation temps-réel),
- mettre en œuvre une démarche pour passer de l'étude de la physique d'un instrument à la réalisation d'un synthétiseur temps-réel.

RESULTATS ATTENDUS

- implémentation des différents modèles simples de clarinette, saxophone, violon en Matlab.
- outil de réalisation automatique de cartographies de ces modèles.
- synthétiseur temps-réel de ces instruments contrôlable par un clavier midi avec mapping déterminé en utilisant l'étape précédente.

ENCADREMENT

Thomas Hélie, Christophe Vergez

BIBLIOGRAPHIE

- McIntyre, Shumacher, Woodhouse, *On the oscillations of Musical Instruments*, JASA, 74(5), pp. 1325-1345, 1983.
- Ollivier, Dalmont, *Idealized Models of Reed Woodwinds. Part I : Analogy with the Bowed String*, Acta Acustica united with Acustica, 90, pp. 1192-1203, 2004.
- Kergomard, *Instruments de musique à vent : Comment éviter le chaos pour faire de la musique ?*, Acoustique et Technique, numéro spécial sur le 4^{ème} CFA, pp. 15-22.
- Maganza, Caussé, Laloé, *Bifurcations, Period Doublings, and Chaos in Clarinet-Like Systems*, Europhysics Letters, 1, pp. 295-302, 1986.
- Gibiat, *Phase Space Representations of Acoustical Musical Signals*, Journal of Sound and Vibration, 123(3), pp. 529-536, 1988.
- Missoum, Vergez, Doc, *Explicit mapping of acoustic regimes for wind instruments*, JSV, 333, pp. 5018-5029, 2014

3. Prise de son et séparation de sources musicales : mélange acoustique ou mélange instantané ?

DESCRIPTION

De la vibration des instruments de musique au signal audio que l'on trouve sur un enregistrement finalisé, de nombreux éléments interviennent. On peut citer par exemple le rayonnement acoustique de l'instrument, les mouvements qui accompagnent l'exécution musicale, la réponse de la salle à ce rayonnement d'une source acoustique en mouvement, le dispositif microphonique et finalement toutes les transformations appliquées lors de la post-production.

Vu sous cet angle, le but de la séparation de sources est d'imaginer des algorithmes qui virtuellement remontent toute cette chaîne de transformations et de mélange afin d'estimer le signal produit par chacun des instruments de musique. Ceci peut être réalisé à partir des connaissances *a priori* que l'on a sur la structure de ces signaux sources ainsi que sur la nature des transformations qu'ils ont subi.

Dans ce projet, on se demandera si la maîtrise du processus d'enregistrement permet d'affiner ces connaissances *a priori* et par la même occasion de mieux informer l'algorithme de séparation de sources, le rendant dès lors plus performant. Aussi, vous serez amenés à réaliser les tâches suivantes :

- prise de son (et éventuel mixage) stéréophonique de plusieurs morceaux de musique (de préférence avec des instruments acoustiques) ;
- décider des connaissances que l'on souhaite garder sur le processus d'enregistrement et imaginer la forme qu'elles peuvent prendre (enregistrement brut de proximité de chaque instrument, positions des microphones, mesures de l'acoustique de la salle, paramètres du logiciel de mixage, mesure de statistiques sur les signaux sources, enregistrement vidéo des musiciens, etc.) ;
- vous familiariser avec un ou plusieurs algorithmes de séparation de sources existants et être capable de les améliorer (c'est-à-dire de les paramétrer intelligemment, ou plus...) via l'intégration de ces connaissances ;
- effectuer une évaluation complète de ce ou ces algorithmes « augmentés » (performances, comparaison avec d'autres algorithmes, analyse de la robustesse à telle ou telle variable de l'enregistrement, etc.).

On travaillera plus particulièrement dans le cadre de prise de son de musique classique instrumentale.

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES

À l'issue de ce projet, vous devrez être capables de :

- décrire et modéliser simplement les transformations passant de la vibration de l'instrument au signal audio enregistré ;
- mettre en œuvre des techniques actuelles en séparation de sources musicales ;
- réaliser une prise de son musicale stéréophonique ainsi que des opérations élémentaires de post-production.

RESULTATS ATTENDUS

- un enregistrement stéréophonique musical ;
- des résultats de séparation de sources dans une forme comparable avec les standards utilisés dans la littérature ;
- un programme de séparation de sources (Python et/ou Matlab) ;
- un rapport au même format qu'un article scientifique complet.

ENCADREMENT

Mathieu Fontaine, Benoît Navarret

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie essentielle :

- *Basic stereo microphone perspectives – a review*, R. Streicher & W. Dooley, JAES vol. 33, no. 7/8, p. 548-556, 1985.
- *Blind signal separation: statistical principles*, J.-F. Cardoso, Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 10, Oct. 1998.
- *A general flexible framework for the handling of prior information in audio source separation*, A. Ozerov, E. Vincent, and F. Bimbot, IEEE Transactions on Audio, Speech and Signal Processing, vol. 20, no. 4, p. 1118-1133, Apr. 2012.
- K. Sekiguchi, Y. Bando, A. A. Nugraha, K. Yoshii and T. Kawahara, "Fast Multichannel Nonnegative Matrix Factorization With Directivity-Aware Jointly-Diagonalizable Spatial Covariance Matrices for Blind Source Separation," in IEEE/ACM TASLP 2020.
- Pyroomacoustics : <https://pyroomacoustics.readthedocs.io/en/pypi-release/>

Pour aller plus loin :

- *Prise de son, Stéréophonie et son multicanal*, C. Hugonnet and P. Walder, Eyrolles, Collection Son et vidéo, 2012.
- *Multichannel natural music recording based on psychoacoustic principles*, Günther Theile, Nordic sound symposium XX, Bolkesjö, 2001.
- *Robust Adaptive Beamforming*, J. Li and P. Stoica, John Wiley, 2006.
- Évaluation subjective : <https://github.com/audiolabs/webMUSHRA>