



UE PROJETS ET APPLICATIONS MUSICALES

ATIAM 2024-2025

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
- note méthode numérique : 10%, devoir maison évalué par Stefan Bilbao

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 ou 3 des champs scientifiques d'Atiam autour d'une application musicale
- apprentissages techniques sur l'ensemble des sujets des projets : il est attendu que chaque personne intègre des éléments liés au projet sur lequel elle 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
- 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 encadrants

Soutenances :

- présentation en groupe devant l'ensemble de la promotion et des 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 la personne sait identifier les outils et difficultés techniques des projets des autres groupes et comprend les démarches mises en œuvre

Individualisation de la note finale

Tous les membres 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 les membres du groupe. A priori, la note du projet est donc la même pour tous. Cependant, la note peut être individualisée si une personne se détache en bien ou en mal.

• SUJETS

(1) Sonorisation par modèle physique d'instruments à cordes frottées

Encadrement : Benoît Fabre, Roland Badeau et François Longo

(2) Auto-oscillations des instruments de musique

Encadrement : Thomas Hélie, Christophe Vergez

(3) Prise de son et séparation de sources musicales

Encadrement : Mathieu Fontaine, Benoît Fabre

Description des sujets en annexe.

3. 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 étudiantes et étudiants traitant un projet et de donner aux étudiantes et 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 10 janvier 2025 à 10h

- présentation des sujets
- répartition des groupes (3 à 4 personnes par projet)

Calendrier, rendus et soutenance des projets

- mini rapport biblio : à déposer sur moodle.ircam.fr au plus tard le vendredi 17 janvier 2025 à midi
- rapport final : à déposer sur moodle.ircam.fr au plus tard le mardi 18 février 2025 à 18h
- soutenance le vendredi 21 février 2025 :
 - présentation des groupes (30 min par groupe : 15 min de présentation + questions)
 - oraux individuels sur les autres projets

Calendrier rendus perception et méthodes numériques

- devoir maison perception : rendu lundi 27/01/2025
- devoir maison méthode numérique : rendu vendredi 31/01/2025

UE PROJETS ET APPLICATIONS MUSICALES / ATIAM 2024-2025 - ANNEXES

(1) Sonorisation par modèle physique d'instruments à cordes frottées

Courte Description

La sonorisation d'instruments de musique amène les ingénieurs du son à naviguer entre deux rives : d'un côté il faut à tout prix éviter l'effet Larsen, de l'autre il faut chercher à donner à l'instrument sonorisé les qualités souhaitées sur le plan musical. Si l'utilisation d'un microphone à proximité de l'instrument permet généralement d'obtenir satisfaction sur le plan de la sonorité, c'est l'utilisation d'un capteur de vibration (quelquefois appelé « cellule ») fixé sur l'instrument qui permet de contrôler au mieux l'effet Larsen.

Dans le cadre d'une étude associant métiers du son, acoustique, traitement du signal et informatique, le but de ce projet est de développer un système capable de contrôler la sonorité de l'instrument sonorisé par traitement du signal issu d'un capteur de vibration. Le but du projet est d'offrir à l'ingénieur du son des paramètres de contrôle assimilables à des ajustements de facture : modifications du chevalet, de la table d'harmonie etc. Le système développé devra donc s'appuyer sur la modélisation physique de l'instrument.

Plus précisément, le projet portera sur la sonorisation d'un violon alto, lors de l'interprétation d'une pièce mixte associant alto et électronique. Le développement et la restitution se feront donc en interaction avec l'ingénieur du son et l'instrumentiste impliqués dans le projet. Les algorithmes de traitement du signal utilisés pourront aller du simple filtrage (dont les caractéristiques devraient évoluer selon ce que dicte la modélisation acoustique de l'instrument) à une stratégie de type analyse-synthèse qui permette de traiter distinctement différents éléments du signal (quasi-périodique, bruit archet, transitions etc.). Ce dernier cas pourra être traité par analyse à haute résolution adaptative.

Objectifs pédagogiques

- être capable d'identifier les propriétés dynamiques d'un système mécanique
- être capable de modéliser un système couplé à partir de systèmes simples : chevalet, table d'harmonie, etc.
- être capable de mettre en œuvre des algorithmes de traitement du signal (filtrage, méthodes à haute résolution)
- être capable de proposer une implémentation, le cas échéant sur DSP, d'un système de traitement approchant du temps réel

Résultats attendus

- une modélisation du violon alto
- une identification des caractéristiques de l'instrument et du capteur, basée sur des données expérimentales
- une implémentation d'algorithme de traitement
- la participation à une mise en situation musicale

Encadrement

Benoît Fabre, Roland Badeau et François Longo

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. Jim Woodhouse The acoustics of the violin: a review Rep. Prog. Phys. 77 (2014) <http://dx.doi.org/10.1088/0034-4885/77/11/115901>
3. Karjalainen Matti and Kälämäki Vesa and Kenttinen Henri and Saastamoinen Harri, DSP equalization of electret film pickup for the acoustic guitar JAES, Vol.48(12) pp 1183-1193 (2000)

Pour aller plus loin

4. B. David, R. Badeau, G. Richard. HRHATRAC Algorithm for Spectral Line Tracking of Musical Signals, , Proc. IEEE ICASSP, mai 2006, Toulouse, France.
5. 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) en multicanal 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 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 Fabre

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie essentielle :

- *Basic stereo microphone perspectives – a review*, R. Streicher & W. Dooley, JAES vol. 33, no. 7/8, p. 548-556, 1985.
- Salmon, François; Changenet, Frédéric; Colas, Tom; Verron, Charles; Paquier, Mathieu; 2023; A Comparative Study of Multichannel Microphone Arrays Used in Classical Music Recording <https://aes2.org/publications/elibrary-page/?id=22149>
- *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.
- Rouard, S., Massa, F., & Défossez, A. Hybrid transformers for music source separation in ICASSP 2023 (demucs)
- OpenL3 : <https://github.com/marl/openl3> (deep audio embedding)
- Pyroomacoustics : <https://pyroomacoustics.readthedocs.io/en/py-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>
- CLAP : <https://github.com/LAION-AI/CLAP> (embedding text + audio)
- *FILM: Perez, E., Strub, F., De Vries, H., Dumoulin, V., & Courville, A. (2018, April). Film: Visual reasoning with a general conditioning layer. In Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence (Vol. 32, No. 1).* (<https://arxiv.org/pdf/1709.07871>)