

PROJETS ET APPLICATIONS MUSICALES 2020-2021



OBJECTIFS

Les objectifs détaillés servent de référence pour l'évaluation de l'UE, 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 DE L'UE :

- 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 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

ÉVALUATION ECRITE

Mini rapport portant sur la biblio :

- Ce rapport de 2 à 4 pages sera déposé sur moodle au plus tard le 16 janvier à 12h. Il 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

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 encadrants

Présentation finale (soutenance) : devant les autres groupes et tous les encadrants.

BARÈME

Il s'agit bien de projets d'apprentissage : ce sont les connaissances et compétences développés qui sont évaluées et non les productions (algorithmes, données ...). Les critères d'évaluation sont précisés dans les objectifs détaillés ci-dessus.

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

- 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 finale)

- oral individuel
- déterminer si l'étudiant 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 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

Analyse d'instruments en situation de jeu – Jean-Loïc Le Carrou, Roland Badeau

Machine Learning & synthèse modulaire – Philippe Esling, Ninon Devis

Auto-oscillations des instruments de musique – Thomas Hélie, Christophe Vergez

Prise de son et séparation de sources musicales – Benoît Fuentes, Benoît Fabre



ORGANISATION

L'UE comprend une partie projet et une partie cours. La partie cours comprend les cours de Perception 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 des projets :

- présentation de l'UE le jeudi 10 décembre à 11h30 : présentation générale de l'UE, présentation des sujets, puis répartition des étudiants (4 à 5 par projet)

Rendu et soutenance :

- rendu du rapport le mercredi 17 février 2021 à 12h sur moodle
- soutenances le vendredi 19 février 2021 :
 - o le matin soutenance des groupes (30 min par groupe : 15 min de présentation + questions)
 - o l'après-midi : oraux individuels sur les autres projets

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

COURTE 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.

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

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

ENCADRANTS

Jean-Loïc Le Carrou, Roland Badeau

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).

Génération par modèle latent profond embarqué sur synthétiseur modulaire (Terminal Tedium)

COURTE DESCRIPTION

Les synthétiseurs modulaires au format Eurorack permettent au musicien de choisir différents modules indépendants et associables pour la composition musicale. Ils donnent ainsi un accès à différentes formes de synthèse, tout en offrant une liberté d'expression inégalable à son utilisateur. Si historiquement ils étaient principalement analogiques, le marché offre aujourd'hui des modules numériques de traitement de signal puissants. Chaque module doit cependant respecter une norme de taille précise, l'objectif des concepteurs étant de miniaturiser toujours davantage leurs produits entraînant, de fait, une limitation de leurs ressources. L'objectif de ce projet sera de concevoir un nouveau type de module utilisant un algorithme de génération par apprentissage automatique (Machine Learning). Celui-ci devra donc être suffisamment léger afin de pouvoir répondre aux contraintes architecturales d'une plateforme embarquée. Pour ce faire, nous utiliserons deux systèmes embarqués communicant : (1) les cartes NVIDIA Jetson permettant du calcul GPU, (2) les shields Terminal Tedium [1] permettant d'interagir avec des GPIO types Raspberry Pi (présents sur les cartes Jetson).

Le but sera dans un premier temps d'implémenter des algorithmes d'analyse de descripteurs audio [2]. Ceux-ci serviront d'un point de vue bas-niveau à moduler un deuxième signal entrant. Par la suite, l'étude se portera sur les algorithmes de synthèse [3, 4, 5] qui pourront être implémentés sur la plateforme embarquée. On pourra notamment s'intéresser à la question de la synthèse rythmique [6, 7]. L'objectif du module sera de permettre un contrôle de haut niveau sous forme d'une "démodulation" entre les descripteurs temporels et ceux du timbre. Celui-ci permettra de contrôler la synthèse par commande vocale (fournissant les descripteurs audio). Ces descripteurs serviront ainsi de signal de conditionnement à l'algorithme de synthèse, sous forme d'un *transfert de timbre* [8]. Enfin, il faudra tenir compte des restrictions des plateformes utilisées en termes de ressources [9].

Ce projet se déroulera en plusieurs étapes:

- Conception d'un modèle approprié pour la génération audio
- Etude de descripteurs audio pour la synthèse
- Conditionnement du modèle pour permettre une synthèse par descripteurs
- Etude de la possibilité de transfert de timbre depuis la voix
- Etude de la compression des algorithmes de synthèse
- Implémentation sur la plateforme embarquée

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

A l'issue de ce projet, vous devriez être capable de

- Proposer une présentation structurée et concise de l'état de l'art sur la synthèse par apprentissage automatique
- Présenter les différents modèles proposés et retenus, ainsi que vos conjectures quant aux résultats.
- Implémenter des algorithmes sur une plateforme embarquée.
- Évaluer les ressources utilisées par un algorithme d'apprentissage.

RESULTATS ATTENDUS

- Génération audio simple à l'aide d'un modèle d'apprentissage profond.
- Complexification du modèle afin de générer de l'audio à partir d'un ensemble de descripteurs.
- Implémentation sur le prototype Terminal Tedium permettant la génération audio temps-réel.

ENCADRANTS

Philippe Esling, Ninon Devis.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Terminal Tedium - Documentation (https://github.com/mxmxmx/terminal_tedium).
- [2] Peeters, G. (2004). A large set of audio features for sound description (similarity and classification) in the CUIDADO project. *CUIDADO IST Project Report*, 54(0), 1-25.
- [3] Esling, P., & Bitton, A. (2018). Generative timbre spaces: regularizing variational auto-encoders with perceptual metrics. *18th International Conference on Digital Audio Effects*
- [4] Esling, P., Masuda, N., Bardet, A., Despres, R., & Chemla-Romeu-Santos, A. (2020). Flow synthesizer: Universal audio synthesizer control with normalizing flows. *Applied Sciences*, 10(1), 302.
- [5] Engel, J., Gu, C., & Roberts, A. (2019, September). DDSP: Differentiable Digital Signal Processing. In *International Conference on Learning Representations*.
- [6] Aouameur, C., Esling, P., & Hadjeres, G. (2019). Neural Drum Machine: An Interactive System for Real-time Synthesis of Drum Sounds. *arXiv preprint arXiv:1907.02637*.
- [7] Ramires, A., Chandna, P., Favory, X., Gómez, E., & Serra, X. (2020, May). Neural Percussive Synthesis Parameterised by High-Level Timbral Features. In *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 786-790). IEEE.
- [8] Huang, X., Liu, M. Y., Belongie, S., & Kautz, J. (2018). Multimodal unsupervised image-to-image translation. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)* (pp. 172-189).
- [9] Esling, P., Devis, N., Bitton, A., Caillon, A., & Douwes, C. (2020). Diet deep generative audio models with structured lottery. *arXiv preprint arXiv:2007.16170*.

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

COURTE 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.

Encadrants

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

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

COURTE 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

A 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.

Encadrants

Benoît Fuentes, Benoît Fabre

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie essentielle :

- Basic stereo microphone perspectives – a review. R. Streicher & W. Dooley, JAES vol 33, no7/8 pp 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, pp. 1118-1133, Apr. 2012
- Generalised Coupled Tensor Factorization, K. Yilmaz, A. T. Cemgil, U. Şimşekli, Advances in Neural Information Processing Systems, Granada, Spain, 2011
- Wonderfull Tensor Factorization, python package (<https://github.com/SmartImpulse/Wonterfact>)

Pour aller plus loin :

- Théorie et pratique de la prise de son stéréophonique, C. Hugonnet and P. Walder, Eyrolles, Collection Son et vidéo, 2003
- Robust Adaptive Beamforming, J. Li and P. Stoica, John Wiley, 2006