

LABORATOIRE SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA MUSIQUE ET DU SON

UMR 9912 – STMS



INNOVATION ET RÉALISATIONS RÉCENTES

THIBAUT CARPENTIER, LAURÉAT DU CRISTAL 2018 DU CNRS

Les outils autour de la spatialisation développés et diffusés par cet ingénieur d'études au sein de l'équipe EAC contribuent de manière essentielle à l'excellence de l'UMR par leur rayonnement exceptionnel auprès des communautés artistique, scientifique et industrielle.

SPAT REVOLUTION, NOUVELLE VERSION MASSIVEMENT MULTICANALE, LAURÉAT DU TECH AWARD AU NAMM 2017

Développé par l'équipe Espaces acoustiques et cognitifs en partenariat avec Flux :, Spat, logiciel dédié à la spatialisation du son en temps réel, est conçu sous forme d'une bibliothèque et permet au musicien ou à l'ingénieur du son de contrôler la spatialisation du son pour divers systèmes de restitution.

PRIX CHAVASSE 2016

À PATRICK SUSINI,

responsable de l'équipe Perception et design sonores par la Société française d'acoustique.

SUCCÈS AU PROGRAMME EUROPÉEN H2020

À l'issue des deux premières années (2014-2015) du programme européen H2020, l'Ircam se situe, aux côtés d'acteurs de taille beaucoup plus importante, parmi les 15 premiers bénéficiaires français dans le domaine des technologies de l'information et de la communication et premier bénéficiaire français pour celles relatives aux industries créatives.

PRIX DU DÉCIBEL D'OR 2014 DANS LA CATÉGORIE « RECHERCHE »

décerné par le Conseil national du bruit à l'équipe Perception et design sonores pour sa démarche de recherche originale en design sonore combinant des travaux scientifiques en perception et cognition auditives sur les sons environnementaux et des applications dans les domaines de la qualité et de la conception sonores.

CREAM: PREMIER PROJET ERC

Obtenu fin 2013 par Jean-Julien Aucouturier, chercheur CNRS affecté au laboratoire STMS, le projet Cream (*Cracking the Emotional Code of Music*) a été sélectionné par le prestigieux European Research Council et vise à caractériser les mécanismes émotionnels induits par l'écoute musicale.

LE LOGICIEL OPENMUSIC

Gratuit et open-source, OpenMusic est la référence pour la composition assistée par ordinateur et les mathématiques appliquées à la musique.

THÉORIES DE LA COMPOSITION MUSICALE AU XX^e SIÈCLE

Cet ouvrage monumental en 1840 pages, 67 chapitres et 2 tomes, publié aux Éditions Symétrie sous la direction de Nicolas Donin et Laurent Feneyrou, rassemble les contributions des meilleurs spécialistes pour proposer un panorama synthétique des théories compositionnelles au siècle dernier. Paru fin 2013, il constitue l'aboutissement d'un projet éditorial sans précédent mené sur plus de dix ans.

ANTESCOFO: PRIX 2013 DE L'INNOVATION INDUSTRIELLE ET PRIX SPÉCIAL 2011 DU MAGAZINE LA RECHERCHE

Ce logiciel temps réel simule l'intelligence d'un musicien, capable d'écouter le jeu d'autres instrumentistes et de les accompagner en fonction de leur interprétation. Il est issu de la thèse de doctorat d'Arshia Cont qui a reçu le prix Gilles Kahn.

TRANSCRIPTION POLYPHONIQUE AUDIO2NOTE INTÉGRÉE À LIVE 9

La version 9 du logiciel Live, diffusée en mars 2013, intègre la technologie novatrice Audio2Note de l'Ircam, fruit d'une étroite collaboration avec la société berlinoise Ableton et permettant la transcription automatique en MIDI d'enregistrements audio polyphoniques.

NOUVEAU SYSTÈME AUDIO MASSIVEMENT MULTICANAL

Inauguré en novembre 2012, ce système sans équivalent composé de 345 haut-parleurs et installé dans l'Espace de projection de l'Ircam à acoustique modulable, produit un rendu sonore à haute résolution spatiale en conjuguant les techniques Wavefield Synthesis et Ambisonique aux ordres élevés.

SUPERVP PLÉBISCITÉ PAR L'INDUSTRIE AUDIO

Logiciel de traitement du son de haute qualité, SuperVP est leader international de sa catégorie et fait l'objet de nombreuses licences auprès d'éditeurs de logiciels et de services audio. C'est le moteur du logiciel d'édition sonore Audiosculpt.

DESIGN SONORE DE CONCEPT-CARS ET VÉHICULES DE SÉRIE RENAULT

L'UMR mène une étroite collaboration avec des constructeurs automobiles dont Renault pour la conception des sons diffusés dans l'habitacle, ainsi que des sons produits par les véhicules électriques (concept-cars DeZir, Symbioz).

LES CHIFFRES CLÉS

7

équipes de recherche menant des travaux dans les différentes disciplines scientifiques en rapport avec la musique: acoustique, traitement du signal, modélisation, contrôle, informatique, psychologie, musicologie.

110

collaborateurs (chercheurs, ingénieurs, techniciens, administratifs) & 40 stagiaires et chercheurs invités par an.

30%

de collaborateurs de nationalité étrangère.

200

publications / an dont 50 dans des revues et chapitres d'ouvrages.

90

collaborations annuelles dont 60 avec des laboratoires et organismes publics et 30 avec des sociétés privées.

22

environnements logiciels développés et diffusés auprès de

10 000

utilisateurs professionnels dans le monde via le Forum Ircam (groupe d'utilisateurs).

LE MOT DE LA DIRECTION

Les activités de recherche accueillies à l'Ircam s'inscrivent dans le cadre de l'unité mixte de recherche (UMR 9912) Sciences et technologies de la musique et du son (STMS), associant aux côtés de l'Ircam, le CNRS, Sorbonne Université et le ministère de la Culture. La période qui s'ouvre sur le prochain quinquennal 2019-2023 acte l'alignement des structures de recherche de l'Ircam sur celle du système académique de recherche. Cette évolution vise à répondre à plusieurs défis: l'intégration de la recherche artistique dans les structures universitaires et la montée en puissance des thématiques art-science (avec, par exemple, la création des doctorats en arts); la restructuration du paysage parisien de la recherche; la lisibilité et l'accroissement de l'attractivité de l'unité; l'évolution de l'écosystème d'innovation français; et le renouvellement, quarante ans après sa concrétisation, de la vision pionnière de Pierre Boulez.

Cette nouvelle organisation, où l'UMR porte le projet scientifique et s'appuie pour les aspects contractuels et d'innovation sur le nouveau département IMR (Innovation et moyens de la recherche, sous la responsabilité d'Hugues Vinet), est rendue possible par l'aboutissement de plusieurs grands chantiers qui ont été portés pendant la période 2012-2017 par Gérard Assayag et Hugues Vinet (respectivement directeur et directeur-adjoint jusqu'en juin 2017), puis Carlos Agon Amado (directeur par intérim jusqu'au 1^{er} janvier 2018). Cette articulation se concrétise par la finalisation du contrat d'association de l'UMR, contrat que je vais avoir à cœur de mettre en œuvre pour le prochain quinquennal.

Brigitte d'Andréa-Novel
Directrice de l'UMR 9912, juin 2018

FAITS MARQUANTS DE LA PÉRIODE EN COURS

- **Création en janvier 2017 de la nouvelle équipe S3AM** (Systèmes et signaux sonores: audio/acoustique et instruments).
- Lancement au Centre Pompidou, en mars 2017, de **Mutations / Créations**, événement annuel coorganisé par l'Ircam associant expositions, symposiums et événements artistiques et visant à exposer et débattre des évolutions des pratiques artistiques dans l'écosystème scientifique et technologique contemporain.
- **Projet européen Vertigo** (H2020 ICT36-2016). Il s'inscrit dans le cadre de l'initiative STARTS (Science, Technology and the ARTS) initié par la DG Connect de la Commission européenne, et vise à coordonner au niveau européen la collaboration d'artistes à des projets de R&D, à travers notamment un important programme de résidences, le développement d'une plateforme web collaborative et la présentation publique annuelle des travaux.
- **Succès de l'Ircam aux appels européens H2020** confortant son positionnement parmi les 15 premiers acteurs français impliqués dans le programme H2020 ICT avec les sélections de Vertigo et des projets i-MuSciCA, consacré aux applications pédagogiques de la synthèse sonore par modélisation physique, et FuturePulse sur le marketing analytique dans le secteur musical.
- Lancement, en 2016-2017, de **nouveaux produits innovants liés aux collections logicielles de l'Ircam : Snail-Analyzer** (accordeur intelligent) et ses extensions à de nouvelles plateformes, **nouvelle version du Spat Ircam Tools** massivement multicanale **lauréate du Tech Award du NAMM 2017, version 2 des IrcamMax** pour le logiciel Live d'Ableton commercialisés par cette même société, **nouvelle version largement étendue Ircam TS Pro** de la collection Ircam Lab.
- **Nombreuses récompenses attribuées à des chercheurs de l'UMR** : prix Chavasse 2013 de la SFA (Société française d'acoustique) à Olivier Warusfel pour les travaux de l'équipe EAC (Espaces acoustiques et cognitifs) ; prix Chavasse 2016 de la SFA à Patrick Susini responsable de l'équipe PDS (Perception et design sonores) ; prix Rocard 2016 de la SFA à Emmanuel Ponsot (équipe PDS) ; Cristal 2018 du CNRS à Thibault Carpentier, ingénieur d'études dans l'équipe EAC.
- **Organisation entre 2015-2018 de nombreux événements publics** : succès renouvelé des portes ouvertes dans le cadre des « Studio 5, en direct » du samedi, colloques WAC'15, « Journée de la lutherie 2016 », « Music Hack Day 2017 », « Improtech Paris-Philly 2017 » rassemblant à Philadelphie autour des projets Omax/ImproteK/DJazz toute la communauté de la co-improvisation homme/machine, un important colloque international « Jean-Claude Risset - Interdisciplinarités » dans le cadre du Collegium Musicae et de Sorbonne Université.

SOMMAIRE

5 LE LABORATOIRE

- 6 Organigramme
- 7 Missions
- 8 Organisation et enjeux scientifiques
- 11 Liens institutionnels
- 12 Innovation et moyens de la recherche
- 13 Collaborations de recherche et partenariats récents

15 LES ÉQUIPES

- 16 Systèmes et signaux sonores: audio/acoustique, instruments (S3AM)
- 17 Espaces acoustiques et cognitifs (EAC)
- 18 Perception et design sonores (PDS)
- 19 Analyse et synthèse des sons (AS)
- 20 Interaction son musique mouvement (ISMM)
- 21 Représentations musicales (Repmus)
- 22 Analyse des pratiques musicales (APM)

23 LES PROJETS

- 24 C1. L'atelier du son
- 38 C2. Le corps musicien
- 48 C3. Les dynamiques créatives

63 LES LOGICIELS

- 64 ADMix Tools
- 65 Antescofo
- 66 AudioSculpt
- 67 CataRT
- 68 IrcamLab TS
- 69 Max
- 70 Modalys
- 71 MuBu pour Max
- 71 OMax
- 72 OpenMusic
- 73 Orchids
- 74 Panoramix
- 75 Spat~
- 76 Suivi de geste et de formes temporelles
- 76 SuperVP, Trax et bibliothèques
- 77 The Snail-Absolute Tuning
- 78 Tosca
- 79 Le Forum Ircam
- 81 Les équipes

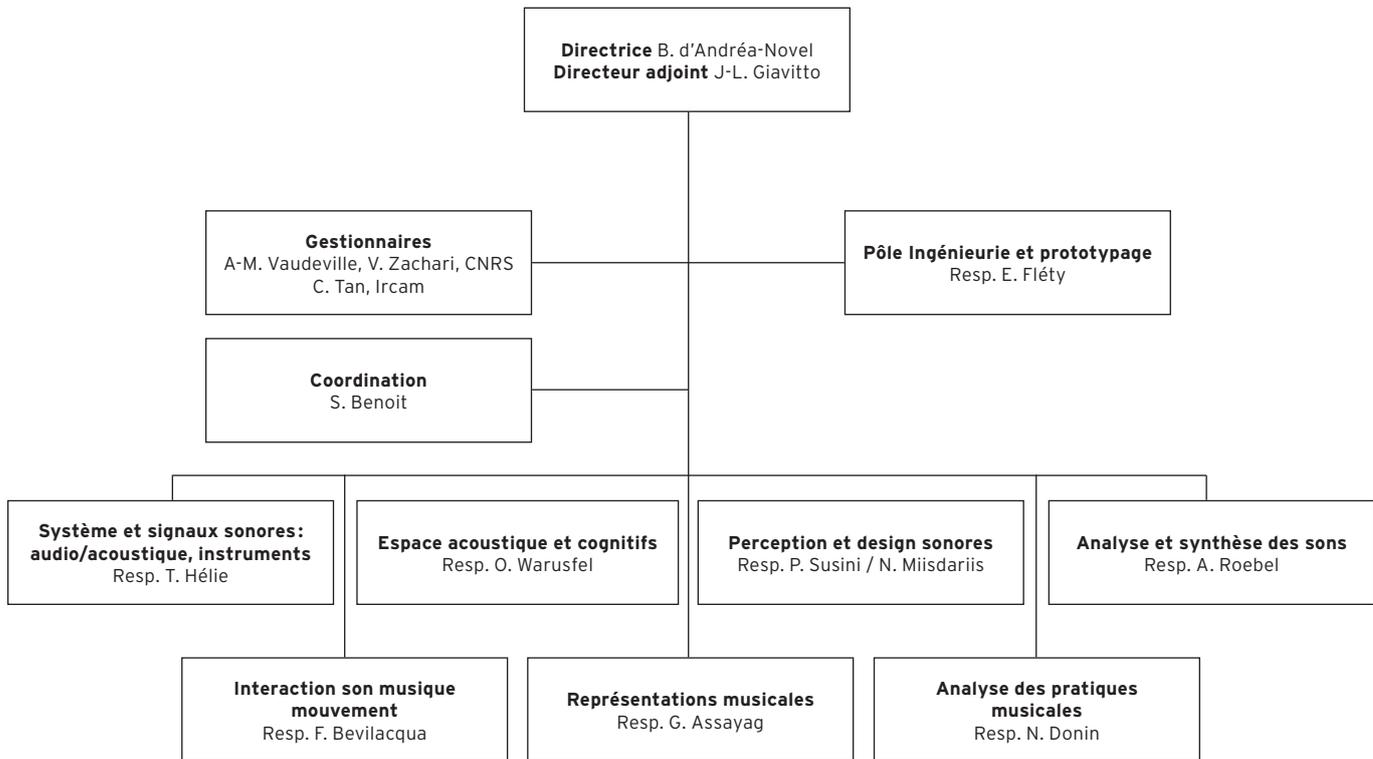
1



LE LABORATOIRE



ORGANIGRAMME



MISSIONS

Depuis sa création en 1977, l'Ircam a pour mission fondamentale de susciter une interaction féconde entre recherche scientifique, développement technologique et création musicale contemporaine. Cette articulation constitue le principal axe structurant de l'ensemble de ses activités. L'un des enjeux majeurs est de contribuer, par les apports des sciences et techniques, au renouvellement de l'expression musicale. Réciproquement, les problèmes spécifiques posés par la création contemporaine donnent lieu à des avancées scientifiques originales, tant théoriques, méthodologiques, qu'appliquées, dont la portée dépasse largement le seul domaine musical. Cette dynamique de recherche originale, tournée vers la création artistique dans toute l'exigence et la sensibilité qui s'y manifestent pour des modes de représentation et de manipulation élaborés du sonore et du musical, suscite des innovations scientifiques et technologiques dont les applications se déploient dans des secteurs d'activité de plus en plus larges : professionnels de la musique et du son, industrie, enseignement, public mélomane... Cette médiation entre recherche et création musicales comporte en particulier le développement d'outils logiciels et technologiques pour les musiciens (compositeurs, interprètes, musicologues), à partir de modèles et prototypes élaborés par des équipes de recherche travaillant dans les différents domaines en rapport avec la musique : informatique (langages, interfaces homme-machine, temps réel, bases de données), traitement du signal et automatique, acoustique, perception et psychologie cognitive de l'audition, musicologie...

Les travaux reposent ainsi sur l'articulation de deux types d'activités complémentaires, la recherche et le développement, réalisées dans le cadre de l'unité mixte de recherche Sciences et technologies de la musique et du son (UMR 9912 - STMS) soutenue par le CNRS, le ministère de la Culture et Sorbonne Université.

La recherche, source d'innovation, vise l'élaboration de connaissances en rapport avec les problématiques musicales. Interdisciplinaire par nature, elle inscrit son activité sous la forme de nombreuses collaborations avec des laboratoires français et étrangers, avec des organismes d'enseignement supérieur et avec des partenaires institutionnels et privés. L'accueil d'élèves-chercheurs et ingénieurs dans le cadre de thèses de doctorat, de stages de master et d'écoles d'ingénieurs contribue à la formation par la recherche. Les compétences ainsi développées trouvent de nombreuses applications au-delà des problématiques musicales, et font l'objet de projets réalisés en collaboration avec des industriels ou dans le cadre de programmes nationaux, européens et internationaux.

Le développement effectue l'adaptation des connaissances, modèles et prototypes issus de la recherche sous la forme d'environnements logiciels et d'outils technologiques. Les principales applications visent la réalisation d'outils pour la création musicale, à travers la mise en œuvre d'environnements ouverts et programmables, afin de pouvoir répondre à des approches esthétiques très diverses, et d'intégrer les modèles issus des travaux de recherche au fur et à mesure de leur avancement. Des versions simplifiées des logiciels, destinées à des cibles d'utilisateurs plus larges, rendent accessible la technologie produite dans le laboratoire sous forme de collections de produits : Ircam Tools (professionnels de l'audio), IrcaMax (musique électronique live), etc. Le Forum Ircam, club d'utilisateurs des logiciels, favorise leur diffusion auprès d'une communauté internationale de professionnels de la musique et du son (compositeurs, artistes multimédia et plasticiens, ingénieurs du son, sound designers, chercheurs, enseignants...), évaluée à plus de 10 000 utilisateurs depuis sa création. Des cessions de licences sont également accordées à des partenaires extérieurs, pour leur utilisation propre ou pour la commercialisation des logiciels. Elles peuvent porter sur des applications complètes (telles que le logiciel Max licencié à la société californienne Cycling'74 et comportant plusieurs milliers d'utilisateurs dans le monde) ou sur des modules fonctionnels particuliers (analyse et traitement audio, indexation, spatialisations, synthèse, etc.), intégrés dans les environnements commerciaux cibles.

ORGANISATION ET ENJEUX SCIENTIFIQUES

Pour répondre à cette mission, le laboratoire est structuré en **sept équipes** qui se caractérisent par leurs ancrages théoriques et les objets étudiés :

- E1. S3AM** (Systèmes et signaux sonores: audio/acoustique, instruments) mobilise mathématiques appliquées (signal, système, contrôle, géométrie différentielle, analyse numérique), physique et mécatronique pour explorer, comprendre, reproduire ou inventer des systèmes multiphysiques produisant des signaux sonores (instruments de musique, voix);
- E2. EAC** (Espaces acoustiques et cognitifs) s'appuie sur l'acoustique, le traitement du signal, la psychologie cognitive de l'audition et les neurosciences pour la captation, l'analyse et la reproduction de champs sonores et l'étude et la compréhension de la perception spatiale du son en contexte d'interaction multisensorielle;
- E3. PDS** (Perception et design sonores) adresse la perception des sons vocaux, musicaux et environnementaux, leur traitement émotionnel et les applications en design sonore à travers la psychoacoustique, la psychologie, la cognition musicale et les neurosciences;
- E4. AS** (Analyse et synthèse des sons) étudie le signal audionumérique en utilisant des théories et techniques de traitement du signal, statistique, apprentissage et reconnaissance des formes pour en extraire toutes sortes de caractéristiques, pour le synthétiser selon des propriétés spécifiées, ou encore pour le transformer en fonction de besoins compositionnels ou autre.
- E5. ISMM** (Interaction son musique mouvement) focalise ses recherches sur l'interaction «incarnée» (embodied interaction) entre humains et médias sonores et musicaux: captation du geste, programmation réactive et temps réel, apprentissage, interface tangible et multimodale, techniques de synthèses sonores;
- E6. RepMus** (Représentations musicales) travaille sur les structures formelles de la musique et les environnements créatifs pour la composition, l'analyse et l'interaction musicien-machine à partir d'architectures et d'approches langages, de formalismes algébriques, et de techniques d'IA telles que l'optimisation et l'apprentissage;
- E7. APM** (Analyse des pratiques musicales) développe une musicologie interdisciplinaire des œuvres et des pratiques musicales contemporaines, en considérant les points de vue historique, sociologique, anthropologique, psychologique, philosophique et en privilégiant des approches «outillées», souvent en lien avec les autres équipes de l'UMR.

Le projet scientifique de l'UMR s'appuie sur ces 7 équipes qui s'organisent autour de **3 champs d'interaction** :

- C1. L'atelier du son;**
- C2. Le corps musicien ;**
- C3. Les dynamiques créatives.**

C1. L'ATELIER DU SON

Le son est ici compris comme un phénomène physique (mécanique, acoustique) mais aussi comme une information numérique engageant des techniques mathématiques et informatiques (traitement du signal) pour traiter des flux, des contenus et des scènes sonores, musicales, ou multimédia.

Le signal audionumérique est abordé sous ses deux aspects de source et de champs. En tant que source, nous le caractérisons ou bien nous le synthétisons, avec des contraintes de précision, de finesse et de qualité à même de répondre à l'exigence de la création contemporaine. Nos recherches se focalisent donc sur les spécificités du signal musical et nous amènent à développer des modèles plus précis en les informant par la physique, la biomécanique, la perception et la cognition, ou encore des données musicales symboliques... L'extraction de descriptions plus symboliques, sémantiquement pertinentes, et le contrôle des modèles par des données qualitatives de haut niveau (par exemple, la prosodie dans le cas de la synthèse de la voix chantée) sont deux des objectifs du laboratoire dans ce domaine. En tant que champs, nos études visent à comprendre ses représentations spatiales et les coupler avec les représentations temps/fréquence, à capter ce champ avec une grande résolution, et à le reconstruire de manière réaliste.

C2. LE CORPS MUSICIEN

Le domaine visé est celui de la musique et du son, perçus et produits par des humains qui interagissent avec un environnement, une machine ou d'autres êtres humains. Le sonore ne se réduit plus à une vibration, mais devient un véhicule permettant l'interaction, qui est produit par un corps biologique et qui agit sur les individus et les comportements. Ce domaine est abordé en se positionnant sur quatre problématiques: le geste, la voix, la perception spatiale du son et son intégration multisensorielle, en étudiant les liens entre contenus sonores ou musicaux et valence émotionnelle.

C3. LES DYNAMIQUES CRÉATIVES

Si la musique est un phénomène produit et perçu par un corps qui tire parti des objets physiques et qui organise un monde sonore, elle est aussi pensée, imaginée - ou rêvée - et parfois formalisée avant d'être réalisée. La question de la créativité émerge aujourd'hui comme une problématique scientifique¹ et comme un paradigme de travail utile pour la conception de systèmes intelligents. Contrairement à ce que pourrait laisser penser une analyse superficielle des nouvelles directions prises par l'IA², le défi ne nous semble pas tant être celui de l'*imitation* que celui du *compagnon*: quelles sont les idées et les outils nécessaires pour inspirer, guider et assister l'artiste dans son processus de création et faire ainsi de la machine un partenaire.

Nous opposons donc ici une approche qui vise à remplacer l'homme en rendant la machine autonome et celle qui vise à augmenter les capacités humaines. On peut alors parler d'*intelligence augmentée*.

Dans le domaine artistique, la première approche peut éventuellement amener à éclairer les mécanismes qui sont remplacés, mais la seconde ouvre quant à elle des dimensions créatives inédites susceptibles de renouveler profondément la relation science-musique.

S'appuyant sur un de nos atouts majeurs - notre intimité avec la création musicale -, les travaux de STMS visent à éclairer et documenter le processus créatif chez des compositeurs; à formaliser, analyser, calculer et produire des structures symboliques musicales en interaction avec les visées des créateurs; à développer de nouveaux outils d'écriture adressant les enjeux contemporains de la notation; et à appréhender les dispositifs assistant la création collective.

Ces trois champs assurent ainsi une lisibilité de notre recherche et couvrent l'ensemble de nos activités, puisqu'ils adressent le monde sonore et musical dans sa dimension physique et numérique, sa perception et sa production par un sujet humain, en lien avec les enjeux de création et de créativité.

Parmi ces sujets d'étude, mentionnons quelques focus ou objets d'étude que nous souhaitons investiguer avec une attention plus particulière dans les prochaines années:

- La modélisation multiphysique
- Le geste expressif expert
- Les CP&HS (Cyber Physical & Human Systems)
- L'apport des neurosciences, sciences cognitives et les liens avec la santé
- IA et créativité musicale
- Les nouvelles dimensions de la notation musicale

1. Voir les nouvelles conférences internationales « Digital Intelligence (#DI) », « Musical MetaCreation (MUME) », « International Conference on Computational Creativity (ICCC) » auxquelles STMS participe régulièrement depuis leur fondation, ou encore l'initiative européenne FET « Creative ICT » qui a financé cinq projets en 2016.

2. Comme le projet **Magenta** développé par Google: « [how to develop] algorithms that can learn how to generate

Malgré la diversité des travaux menés, le laboratoire possède une identité et une visibilité fortes à la fois du point de vue de ses objets d'études et de son positionnement scientifique. **Trois principes importants qui caractérisent la politique scientifique de l'UMR** concourent à cet état de fait, pallient la faible masse critique des équipes et permettent au laboratoire de produire des contributions scientifiques marquantes et de développer des outils innovants.

1. ADOSSEMENT RECHERCHE-CRÉATION

Le premier principe est l'adossement des thématiques de recherche à la création musicale contemporaine dans une interaction féconde³. Cet adossement permet une grande diffusion des résultats de recherche. L'interaction recherche-crédation est soutenue par plusieurs dispositifs récurrents. Nous en citerons quatre.

- Les équipes de l'UMR participent aux *productions artistiques* de l'Ircam, soit directement, soit à travers les réalisateurs en informatique musicale (RIM) qui servent de courroie de transmission entre les artistes et les prototypes et les outils élaborés dans le laboratoire. Leur rôle est essentiel pour adapter les temps longs de la recherche au temps nécessairement plus limité des productions artistiques.
- Les *projets résidence-IRC* (Interfaces recherche/création) permettent aux équipes d'interagir avec un créateur qui propose un projet de recherche et vient en résidence à l'Ircam pour une durée d'un à trois mois. Ces projets, détachés du contexte et des contraintes de production, permettent de développer un travail en amont. Depuis 2012, 31 résidences ont été sélectionnées par un appel international annuel via la plateforme du réseau ULYSSES⁴. La plupart des artistes en résidence sont étrangers et la moitié des projets impliquent au moins deux équipes.
- Apparue en 2013, le dispositif des *thèses en art* permet de développer une interaction sur un temps long avec un artiste qui poursuit un travail de thèse à plein-temps. Ce type de doctorat permet d'articuler finement pratique artistique et approche théorique d'une part, recherche et création d'autre part.
- Enfin, les interactions recherche/création sont ancrées dans des rencontres avec des individus porteurs de leurs problématiques singulières. Pour développer un dialogue plus large avec la communauté des compositeurs, et repérer plus systématiquement les thématiques émergentes, l'Ircam (départements IRC, Production et STMS) a expérimenté en 2017 des journées de rencontres et d'échanges. Ces journées « *Méridien* » sont appelées à être renouvelées.

3. Ce modèle d'interaction, dans lequel l'Ircam a été pionnier, est aujourd'hui reconnu et s'impose avec par exemple le projet H2020-ICT **Vertigo** (Adding socio-economic value to industry through the integration of artists in research and open innovation processes) qui a débuté fin 2016 porté par l'Ircam: <http://vertigo.ircam.fr/>

4. <http://www.ulysses-network.eu>

2. UN ALLER-RETOUR ENTRE APPLICATIONS FINALISÉES ET RÉFLEXIONS THÉORIQUES

Le deuxième principe qui caractérise la stratégie scientifique de l'UMR est de toujours valider les réflexions théoriques par des développements qui sont utilisés en dehors des équipes et, à l'inverse, d'étayer les développements applicatifs par une réflexion épistémologique ou théorique. Dans cet aller-retour, l'application logicielle ou matérielle agit dans le laboratoire comme un indispensable dispositif expérimental. Les prototypes développés par les chercheurs le sont souvent dans le cadre de projets collaboratifs, ce qui entraîne leur utilisation par des partenaires extérieurs et aussi dans les productions artistiques, confrontant les résultats du laboratoire aux exigences du compositeur et à son oreille aguerrie. Au-delà de l'expérimentation à travers les projets artistiques propre à l'Ircam, les logiciels atteignent aussi un public plus large à travers le *Forum Ircam*¹ qui fait l'objet d'une coordination transversale à l'Ircam (plus de 10 000 membres professionnels dans le monde).

3. UN TRÈS LARGE ANCRAGE NATIONAL ET INTERNATIONAL

Le troisième principe est celui d'un ancrage fort du laboratoire dans le paysage national et international de la recherche au plus haut niveau, dans toutes les communautés scientifiques auxquelles sont rattachées les différentes équipes de recherche. Ce point fait l'objet du paragraphe suivant.

1. <http://forumnet.ircam.fr>

LIENS INSTITUTIONNELS

L'UMR s'appuie sur les liens naturels et diversifiés entre ses équipes de recherche mais tire aussi parti de l'ancrage de ses membres au sein d'une communauté régionale, nationale et internationale. En atteste en particulier le grand nombre d'invitations des chercheurs du laboratoire (séminaires, conférenciers invités), leur participation dans les comités de programme et les conférences et colloques qu'ils ont initiés ou organisés.

Au niveau national, STMS est le seul laboratoire de recherche inscrit dans l'accord-cadre Culture-CNRS 2016-2020 dans le domaine musical¹.

Au niveau régional, le laboratoire est partenaire du parcours de master de recherche (M2) **ATIAM** (Acoustique, traitement du signal et informatique appliqués à la musique, parcours Systèmes et applications réparties), accueilli et coordonné par l'Ircam dans le cadre du master Sciences et technologie de Sorbonne Université, en collaboration avec Télécom ParisTech. Le laboratoire est aussi partenaire du master **Design Sonore** coorganisé avec l'EPCC - École supérieure des beaux-arts Tours Angers Le Mans, l'université du Maine et l'ENSCI - Les Ateliers. Ces deux formations n'ont pas d'équivalent sur le territoire français. Au niveau international, les cursus comparables sont plutôt orientés « Music Technology » et, inscrits dans des facultés de musique, s'adressent plutôt à des étudiants dont la formation initiale est la musique. Les membres du laboratoire interviennent aussi ponctuellement dans plusieurs autres masters (Grenoble, Strasbourg, Marseille).

STMS est un laboratoire d'accueil des écoles doctorales de Sorbonne Université dans ses domaines de compétence, en particulier EDITE (École doctorale d'informatique, télécommunications et électronique de Paris), SMAER (Sciences mécaniques, acoustique, électronique et robotique) et ED3C (Cerveau, cognition, comportement). Dans le cadre de la ComUE Sorbonne Université et de l'Idex SUPER, une nouvelle filière doctorante destinée aux compositeurs et intitulée Doctorat de musique - Recherche en composition, a vu le jour à la rentrée universitaire 2014.

L'Ircam est membre fondateur² du **Collegium Musicae**, institut qui mène une action structurante au sein de la ComUE Sorbonne Université. Trois axes thématiques sont couverts : analyse & création, instruments & interprètes et archive & patrimoine.

L'UMR 9912-STMS participe à deux **Laboratoires d'Excellence** (LabEx) :

- le LabEx SMART³ qui se focalise sur les interactions Humains-Machines et qui réunit cinq laboratoires de Sorbonne Université ainsi que Télécom ParisTech et le LUTIN (laboratoire sur les usages associés à la Cité des sciences et de l'industrie).
- le LabEx CAP⁴ à travers l'équipe APM (Analyse des pratiques musicales). CAP étudie les arts, la création et les patrimoines pour comprendre et accompagner les mutations de la société contemporaine dans un contexte de mondialisation économique et culturelle.

Le laboratoire est également associé à une **chaire d'excellence** de la Fondation Sorbonne Université, MouVIE, sur la mobilité et la qualité de vie en milieu urbain, financée par PSA/Renault jusqu'en 2020.

Au niveau international, l'UMR entretient des liens réguliers avec les centres internationaux de recherche en informatique musicale les plus prestigieux, comme le CCRMA à Stanford University, le CNMAT à UC Berkeley, le MIT Medialab à Boston, le CIRMMT à McGill University, ou encore en Europe le MTG à l'UPF Barcelone, le département SPA de l'Aalto University à Helsinki et le C4DM à Queen Mary University (chercheurs invités, échange de doctorants, montage de projets communs⁵). Le laboratoire s'est aussi rapproché d'autres grands centres universitaires avec des workshops dédiés organisés aux universités de Singapour, Columbia, NYU New York et Abu Dhabi, Campinas, Sao Paulo, Shanghai, et à l'EPFL.

1. Voir <https://goo.gl/jmr9BE> Deux autres UMR hébergent des programmes soutenus par le MCC sans que le ministère soit une cotutelle: le LaBRI pour l'hébergement du Studio de création et de recherche en acoustique musicale (SCRIME) et le LAM pour le programme documents et archives sonores et les travaux du GIS-SPADON.
2. Avec 8 autres acteurs majeurs de l'éducation et de la recherche musicale: IReMus, Institut de recherche en musicologie (UMR 8223 - CNRS - Paris-Sorbonne - BnF - MCC); LAM, Lutheries, Acoustique, Musique - Institut Jean le Rond d'Alembert (UMR 7190 - CNRS - Sorbonne Université - ministère de la Culture); Musée de la musique, Cité de la musique - Philharmonie de Paris: Centre de recherche sur la conservation (USR 3224 - CRCC - LRMH - ECR Musée de la musique); Unité systématique et catégorisation culturelles (UMR 7206 - CNRS - MNHN - Paris 7); Pôle Supérieur Paris-Boulogne-Billancourt (PSPBB); Chœur & Orchestre Sorbonne Universités (COSU); UFR Musique et musicologie (Paris-Sorbonne); UFR d'Ingénierie (Sorbonne Université).
3. Les laboratoires SU du LabEx SMART sont l'ISIR, le LIP6, le laboratoire Jacques Louis Lions, le LZE et STMS: <http://www.smart-labex.fr/>
4. Le LabEx CAP <http://labexcap.fr/> regroupe dix-sept laboratoires universitaires et d'enseignement supérieur (émanant de: l'EHESS, l'EPHE, le CNAM, l'ENC, l'ENSCI, l'ESCP Europe, l'ENSAPLV, l'INHA, l'INP, l'Ircam, le LCPI ParisTech, l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne) et huit établissements patrimoniaux et muséaux (BnF, Musée du Louvre, Centre Pompidou, musée du quai Branly - Jacques-Chirac, Musée des Arts décoratifs, Musée des Arts et Métiers, Sèvres - Cité de la céramique, La Cité de l'architecture et du patrimoine).
5. Ces projets sont financés de manières diverses: par exemple contrat bilatéral et financement INRIA international, bourse Fulbright, programme international canadien, projets européens, etc.

INNOVATION ET MOYENS DE LA RECHERCHE

Au cœur d'enjeux sociétaux et économiques croisant culture et technologies de l'information, les recherches accueillies à l'Ircam se présentent dans le paysage international de la recherche comme pôle de référence interdisciplinaire autour des sciences et technologies du son et de la musique et s'exposent en permanence aux nouveaux besoins et usages de la société. Cette médiation prend diverses formes en fonction des cibles et sphères d'activité concernées et est portée par le **département IMR - Innovation et Moyens de la Recherche** de l'Ircam qui est également en charge de la tutelle Ircam de l'UMR STMS et des infrastructures web et informatiques de l'Ircam.

La spécificité de l'Ircam est de réunir un large spectre de compétences scientifiques et technologiques, qui trouvent des applications dans de nombreux secteurs d'activité, centrés sur la production et la diffusion de la musique, du son, des arts numériques, des industries culturelles et rayonnant dans tous les domaines faisant intervenir la dimension sonore: design sonore (automobile, transports, environnement urbain), interfaces multimodales, réalité virtuelle et augmentée, simulation, etc. Fort de son savoir-faire de plusieurs décennies sur le management de l'innovation et de la créativité collective, l'Ircam est également consulté sur ce thème par des directions de grands groupes (innovation, marketing, ressources humaines, communication...).

Le modèle art-innovation de l'Ircam est étendu à tous les champs technologiques et artistiques dans le cadre du programme STARTS Residencies du projet européen VERTIGO coordonné par l'Ircam, qui organise des résidences d'artistes en lien avec des projets de recherche technologique dans toute l'Europe, avec le soutien de l'initiative STARTS¹ (Science, Technology and the Arts) de la Commission européenne.

Ce modèle s'expose dans le cadre du Forum annuel Vertigo, symposium interdisciplinaire organisé au Centre Pompidou dans le cadre de l'événement Mutations Création, associant artistes, chercheurs, ingénieurs et acteurs de l'innovation autour des enjeux actuels de la création artistique dans son rapport aux sciences et technologies.

L'Ircam est agréé par le ministère de la Recherche et de l'enseignement supérieur au titre du crédit impôt recherche (CIR) et les prestations effectuées par ses équipes pour le compte de partenaires privés bénéficient d'avantages fiscaux. Les liens avec l'industrie s'inscrivent dans de nombreux cadres de collaboration: projets de R&D nationaux et européens, fruits des recherches de l'UMR (une vingtaine en cours, dont un tiers coordonné par l'UMR), prestations de recherche, co-encadrement de thèses CIFRE, accompagnement à la création de jeunes pousses (Phonotonic, Mogeex, Niland [rachetée par Spotify en 2017], Antescofo et HyVibe parmi les plus récentes), prises de participation et cessions de licences. L'Ircam est particulièrement actif en ce qui concerne ce dernier aspect, avec plusieurs dizaines de licences en cours avec des grands groupes et des PME (Europe et Amérique du Nord principalement) portant sur des briques technologiques pour lesquelles il est en position de leader (synthèse et traitement du son, indexation musicale, spatialisation sonore, interaction performance/son, etc.).

Spécificité de l'Ircam, la culture de développement technologique professionnel intégré à ses équipes de recherche aboutit en effet à la production finalisée de modules fonctionnels optimisés, directement transférables. Plus globalement, cette activité de développement se traduit par diverses formes de réalisation adaptées aux différentes catégories de cibles visées. Plus d'une vingtaine d'environnements logiciels sont ainsi développés au sein des équipes (cf. Partie 4), perfectionnés de manière incrémentale en fonction des dernières avancées de la recherche, utilisés par les autres départements de l'Ircam pour leurs activités de production artistique et de formation (compositeurs, réalisateurs en informatique musicale, ingénieurs du son, instrumentistes, danseurs...) et diffusés dans le cadre du Forum Ircam auprès d'une communauté internationale de plus de 10 000 utilisateurs professionnels. Des applications simplifiées dans leur usage en sont dérivées sous forme de produits logiciels dans le cadre de différentes collections commerciales.

1. <https://starts.eu>

COLLABORATIONS DE RECHERCHE ET PARTENARIATS RÉCENTS

3D for All Kft (Hongrie)	Flux::	Novespace
A-Volute	Flying Eye (Allemagne)	Open University (Royaume-Uni)
Ableton (Allemagne)	France Télévisions	Orange
Acapela	Fratelli Piacenza SpA (Italie)	Orbe
Arkamys	Fraunhofer (Allemagne)	OSU Ecce Terra
Arte	GENESIS (Genesis Acoustics)	Parisson
Artipolis	Goldsmiths' College (Royaume-Uni)	Parrot
Artshare (Belgique)	Grame	Pathé
Athena Research Center (Grèce)	Haute École de musique de Genève (Suisse)	Philharmonie de Paris
Athens Technology Center (Grèce)	HearDis! Corporate Sound GmbH (Allemagne)	Phonotonic
b>com	I3S	Playground (Suède)
Bass Nation (Finlande)	ID Scenes	Plus - Wireless Biosignals SA
Bayerischer Rundfunk (Allemagne)	Inova+ (Portugal)	PSA Peugeot Citroën
BBC (Royaume-Uni)	Inria	Qwant
Bmat (Espagne)	Inserm-Sorbonne Université-faculté de médecine	Radio France
Buffet-Crampon	Institut Jean Le Rond d'Alembert-CNRS	Reactable Systems (Espagne)
Cabrilog (France)	Instituts de recherche technologique	Renault
Centre de psychiatrie et neurosciences (Inserm-université Paris Descartes)	INTEGRAL Markt - und	Sigma-Orionis
Centre de recherche de l'Institut du cerveau et de la moëlle épinière (UMR 7225)	Meinungsforschungsges.m.b.H. (Allemagne)	Sky-Deutschland (Allemagne)
Centre hospitalier universitaire de Nice	IreMus	SNCF
Centre interfacultaire des sciences affec- tives (Suisse)	ISAE SUPAERO	Somethin'Else Sound Directions Ltd (Royaume-Uni)
CHU La Conception-Marseille	ISIR	Soundtrack Your Brand (Suède)
CHU-Liège (Belgique)	IUAV (Italie)	StreetLab
CNES	Kainos (Royaume-Uni)	Stromatolite Innovation Lab (Royaume-Uni)
CNMAT-UC Berkeley	Kantar Media	Stupeflix
CNRS Telecom ParisTech	KTH (Suède)	Supelec
Conservatoire national de musique et de danse de Paris	Laboratoire de neurophysique et physiologie (UMR 8119, université Paris-Descartes)	Technicolor
CTEL	Laboratoire des sciences, des procédés et des matériaux de l'université Paris-13	Technische Universität Berlin (Allemagne)
Culture Tech	LaBRI	Technische Universität Wien (Autriche)
Dassault Systèmes	LAGEP	Testaluna (Italie)
Deezer	Lambde Limited (Roi)	Trinity College Dublin (Irlande)
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (Allemagne)	LATMOS	Trinnov-Audio
Dualo	Libelium Comunicaciones (Espagne)	Ubisoft
Dubbing Brothers	LIMSI	UC Limburg (Belgique)
École de musique Schulich (Canada)	LMA	Universal (Royaume Uni)
École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse)	Lovemonk S.L. (Espagne)	Universal Music Publishing Classical
ECR-Musée de la musique	LPL	Université Ben Gurion (Israël)
EHESS	LRI	Université de Bretagne occidentale
elephantcandy (Pays-Bas)	Magix (Allemagne)	Université de Fribourg (Suisse)
Ellinogermaniki Agogi (Grèce)	Maha	Université de Gênes (Italie)
EMI	Makemusic	Université de Thessalonique (Grèce)
EMPAC (États-Unis)	Mathematics for more (Espagne)	Université de Zaragoza (Espagne)
Ensad	Mogees	Université Kiel (Allemagne)
esba TALM	Musée du Quai Branly - Jacques-Chirac	Université McGill (Canada)
Eurecom Sophia Antipolis	Musimap (Belgique)	Université Pompeu Fabra (Espagne)
Eurescom	Niland	UVI Sounds and Software
FINCONS SpA	No Design	Velti (Grèce)
	Nokia (Finlande)	Vi-live
	Novelab	Vizion'r
		Xtranormal

2

— LES ÉQUIPES —

ÉQUIPE SYSTÈMES ET SIGNAUX SONORES: AUDIO/ACOUSTIQUE, INSTRUMENTS (S3AM)

Responsable: Thomas Hélie

ACTIVITÉS

–

L'équipe Systèmes et signaux sonores: Audio/acoustique, instruments élabore des outils théoriques, technologiques et expérimentaux portant sur les systèmes multiphysiques et les signaux sonores qu'ils produisent. Elle s'intéresse à explorer, comprendre, reproduire avec réalisme ou inventer des objets sonores en audio, en acoustique, avec une focalisation sur les instruments de musique jusqu'à la production de la voix.

Plus précisément, les objectifs sont de modéliser, simuler, identifier et optimiser ces systèmes (voix, musicien/instrument, haut-parleurs, effets électroniques audio, etc.), avec pour particularité de s'appuyer sur la physique pour faire émerger des structures intrinsèques et en bénéficier. L'équipe élabore des méthodes d'analyse, transformation, contrôle et simulation de sons et des outils d'aide à la conception, dans des paradigmes virtuels, réels ou hybrides. Dans cette démarche, l'approche globale «systèmes et signaux» apporte une synergie dès la conception des outils, en connectant (et non simplement en juxtaposant) plusieurs disciplines et champs scientifiques: physique, théorie des systèmes et du contrôle, géométrie différentielle, analyse numérique, traitement du signal, informatique, électronique, mécatronique et robotique.

Les applications visées concernent les domaines scientifiques, artistiques, pédagogiques et de la santé.

THÉMATIQUES ET PROJETS ASSOCIÉS

–

- Modélisation physique des instruments de musique et de la voix
- Synthèse sonore par modélisation physique
- Plateformes expérimentales robotisées: bouche artificielle robotisée pour le jeu des cuivres, appareil vocal robotisé à l'échelle 1:1
- Identification de systèmes non linéaires
- Contrôle de systèmes non linéaires et contrôle d'instruments
- Projet Animaglotte (Système artificiel d'animation de larynx ex vivo, p. 41)
- Projet Infidhem (Systèmes interconnectés de dimension infinie pour les milieux hétérogènes, p. 28)
- Projet iMuSciCA (p. 24)
- Projet Ondes Martenot (p. 43)
- Projet UMN (réseau Unfold Mechanics Network)

DOMAINES DE COMPÉTENCE

–

Acoustique, mécanique, systèmes non linéaires, contrôle, théorie du signal, géométrie différentielle, analyse numérique, expérimentation, mécatronique, lutherie réelle et virtuelle, synthèse sonore.

COLLABORATIONS

–

Athena-RIC (Grèce), Cabrilog SAS, Cambridge University (Royaume-Uni), C2RMF-Louvre, C2RMF et Louvre-Lens, Centre Bernoulli-EPFL (Suisse), CHU Liège, EPCC-Edinburgh Univ. (Royaume-Uni), GIPSA-lab, IJLRA-Sorbonne Université, IMJPRG-Sorbonne Université, Imperial College London (Royaume-Uni), ISAE-SUPAÉRO, LAGEP-université Lyon-1, LaSIE-université de La Rochelle, LEOPOLY (Hongrie), LMA-CNRS, LMD-ENS, LPL, Mines ParisTech, Musée de la musique - Philharmonie de Paris, NTNU (Norvège), Thalès Group.

ÉQUIPE

–

Chercheurs: B. d'Andréa-Novel (Sorbonne Université), J. Bensoam, H. Boutin (Sorbonne Université), R. Caussé (émérite), T. Hélie (CNRS), D. Roze (CNRS)

Ingénieurs: Q. Lamerand, R. Piéchaud

Techniciens: D. Chalabi (contrat par apprentissage, CNRS)

Doctorants: D. Bouvier, T. Lebrun, R. Muller, M. Wijnand

ÉQUIPE ESPACES ACOUSTIQUES ET COGNITIFS (EAC)

Responsable : Olivier Warusfel

ACTIVITÉS

–

L'activité de recherche et de développement de l'équipe Espaces acoustiques et cognitifs est consacrée à la reproduction, à l'analyse/synthèse et à la perception de scènes sonores. Les disciplines scientifiques de l'équipe sont le traitement du signal et l'acoustique pour l'élaboration de techniques de reproduction audio spatialisée et de méthodes d'analyse/synthèse du champ sonore. Parallèlement, l'équipe consacre un important volet d'études cognitives sur l'intégration multisensorielle pour un développement raisonné de nouvelles médiations sonores basées sur l'interaction corps/audition/espace. Les activités de recherche scientifique décrites ci-dessous s'articulent avec une activité de développement de bibliothèques logicielles. Ces développements consignent le savoir-faire de l'équipe, soutiennent son activité de recherche théorique et expérimentale et sont le vecteur majeur de notre relation avec la création musicale et d'autres secteurs applicatifs.

Les travaux concernant les techniques de spatialisation se concentrent sur les modèles basés sur un formalisme physique du champ sonore. L'objectif principal est le développement d'un cadre formel d'analyse/synthèse du champ sonore exploitant des réponses impulsionnelles spatialisées (SRIR pour Spatial Room Impulse Response). Les SRIRs sont généralement mesurées par des réseaux sphériques comportant plusieurs dizaines de transducteurs (microphones et/ou haut-parleurs). L'application principale concerne le développement de réverbérateurs à convolution exploitant ces SRIRs à haute résolution spatiale afin de reproduire fidèlement la complexité du champ sonore.

La technique de spatialisation binaurale sur casque retient également notre attention. L'évolution des pratiques d'écoute et la démocratisation des applications interactives tendent à privilégier l'écoute sur casque à travers l'usage des smartphones. Grâce à sa capacité d'immersion sonore, l'écoute binaurale devient le premier vecteur d'écoute tridimensionnelle. Basée sur l'exploitation des fonctions de transfert d'oreille (HRTFs) elle reste à ce jour la seule approche assurant une reconstruction exacte et dynamique des indices responsables de la localisation auditive. Elle s'impose comme un outil de référence pour la recherche expérimentale liée à la cognition spatiale en contexte multisensoriel et pour les applications de réalité virtuelle.

Ces techniques de spatialisation audio 3D, associées aux dispositifs de captation des mouvements de l'interprète ou de l'auditeur dans l'espace, constituent une base organologique essentielle pour aborder les questions « d'interaction musicale, sonore et multimédia ». Parallèlement, elles invitent à une réflexion sur les « fondements cognitifs » liés à la sensation d'espace, notamment sur la nécessaire coordination entre les différentes modalités sensorielles pour

la perception et la cognition de l'espace. Plus spécifiquement, nous désirons mettre en évidence l'importance des processus d'intégration entre les indices idiothétiques (liés à nos actions motrices) et les indices acoustiques (localisation, distance, réverbération...) utilisés par le système nerveux central pour construire une représentation spatiale de l'environnement perçu.

Sur le plan musical, notre ambition est de fournir des modèles et des outils permettant aux compositeurs d'intégrer la mise en espace des sons depuis le stade de la composition jusqu'à la situation de concert, contribuant ainsi à élever la spatialisation au statut de paramètre d'écriture musicale. Plus généralement, dans le domaine artistique, ces recherches s'appliquent également à la postproduction, aux installations sonores interactives et à la danse à travers les enjeux de l'interaction son/espace/corps.

L'intégration de fonctions de spatialisation sonore dans les environnements de réalité virtuelle ouvre également des perspectives d'applications scientifiques pour la recherche en neurosciences, les dispositifs à visée thérapeutique ou les simulateurs dans le domaine des transports.

THÉMATIQUES ET PROJETS ASSOCIÉS

–

- **Spatialisation sonore**: Analyse du champ sonore par réseaux sphériques de transducteurs (p. 27); Réverbération hybride et réponses impulsionnelles spatialisées (p. 31); Synthèse de champs sonores par réseaux à haute densité spatiale (p. 32); projet Orpheus (p. 35); Écoute binaurale et projet Bili (p. 36); Spatialisation distribuée (p. 31)
- **Fondements cognitifs**: Cognition spatiale auditive (p. 42); projet Audioself (p. 46); Intégration multisensorielle (p. 42); projet Entrecorps (p. 39)
- **Logiciels**: Spatialisateur (p.75), Tosca (p. 78), Panoramix (p. 74), ADMix Tools (p. 64)

COLLABORATIONS

–

ARI-ÖAW (Autriche), Bayerischer Rundfunk (Allemagne), BBC (Royaume-Uni), B<>COM, Ben Gurion University (Israël), Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris, CNES, elephantcandy (Pays-Bas), France Télévisions, Fraunhofer ISS (Allemagne), Hôpital de la Salpêtrière, HEGP, Hôpital universitaire de Zurich (Suisse), IRBA, IRT (Allemagne), L-Acoustics, LAM, McGill University (Canada), Orange-Labs, RWTH (Allemagne), Radio France, RPI (États-Unis).

ÉQUIPE

–

Chercheurs: M. Noisternig, I. Viaud-Delmon (CNRS), O. Warusfel - **Ingénieurs**: T. Carpentier (CNRS) - **Postdoctorants**: L. Hobeika - **Doctorants**: J. Moreira - **Résidences/invités/collaborations longues**: N. Schütz, C. Suied, M. Taffou

ÉQUIPE PERCEPTION ET DESIGN SONORES (PDS)

Responsable : Patrick Susini

Responsable-adjoint : Nicolas Misdariis

ACTIVITÉS

–

Le projet de recherche de l'équipe Perception et design sonores porte sur la perception et la cognition des sons en combinant des connaissances en psychoacoustique, en traitement/synthèse du signal, en psychologie et neurosciences cognitives. Plus largement, les recherches de l'équipe s'articulent avec des actions de création et de pédagogie dans le domaine du design sonore.

Les recherches de l'équipe concernent principalement les sons environnementaux; c'est un objet encore peu étudié qui permet d'accéder à différents niveaux de représentation cognitive en lien avec les caractéristiques de surface des sons et des sources qui les produisent. Les travaux concernent donc aussi bien la caractérisation perceptive de ces sons que les mécanismes cognitifs mis en jeu pour les identifier. Les sons environnementaux sont souvent produits dans un contexte d'interactions combinées à un geste lors de la manipulation d'un objet. Un des enjeux majeurs de l'équipe est donc de poursuivre l'étude des sons environnementaux dans un processus combinant perception et action; ce qui constitue une porte d'entrée essentielle et originale pour la recherche en cognition auditive et pour les applications en design sonore interactif.

L'objet de recherche de l'équipe a été étendu aux imitations vocales ainsi qu'aux sons musicaux et à la voix en lien avec les sons environnementaux; cela ouvre de nouvelles perspectives de recherche de l'équipe pour mieux comprendre les processus cognitifs mis en jeu dans l'identification d'une source sonore, dans l'organisation d'une scène sonore composée de plusieurs sources, et dans le traitement émotionnel des sons.

Les applications des travaux de l'équipe concernent principalement le design sonore: nous concevons des règles, des outils et des méthodes - dérivés de nos travaux fondamentaux - visant à faciliter la création de sons fonctionnels et agréables pour notre environnement quotidien. L'impact sociétal des travaux de l'équipe a été récompensé en 2014 par l'obtention du Décibel d'Or Recherche, décerné par le Conseil national du bruit, et deux prix de la Société Française d'Acoustique en 2016.

La création en design sonore est effectuée en combinant «savoir» et «savoir-faire» respectivement des chercheurs de l'équipe et des compositeurs associés (A. Cera, S. Gaxie, A. Sigman, R. Rivas) dans le cadre de différents projets. Les projets de création sont de trois types: industriels dans les domaines de l'automobile avec Renault, et du luxe, avec Krug par exemple; recherche pour la création de signalétiques sonores; pédagogie dans le cadre de plusieurs workshops applicatifs.

Enfin, l'équipe fédère différentes actions pédagogiques:

- des workshops applicatifs en partenariat avec des industriels et des collectivités sur des sujets allant de la signalétique du tram de la ville du Mans au renforcement du bien être des patients de l'hôpital de St Anne;
- des formations professionnelles combinant cours et réalisation d'un projet en lien avec le département Pédagogie de l'Ircam.

THEMATIQUES ET PROJETS ASSOCIES:

–

- Sonie (loudness) des sons non-stationnaires et multi-sources: MoUVie (p. 26)
- Perception de scènes sonores multisources: MoUVie (p. 26)
- Analyse et caractérisation perceptives d'environnements sonores complexes: Houle (p. 62), MoUVie (p. 26)
- Son, imitation et identification: Skat-VG (p. 45)
- Son et interactions: Legos, p. 47
- Son et émotions: CREAM, p. 40, Reflets (p. 39)
- Signalétique sonore et IHM
- Outils et méthodes: Skat-VG (p. 45)

DOMAINES DE COMPETENCE

–

Psychoacoustique, psychologie expérimentale, neurosciences cognitives, acoustique, design sonore, analyse de données.

COLLABORATIONS

–

TU-Berlin (Allemagne), J. Gutenberg Universität (Allemagne), McGill University (Canada), University of Canberra (Australie), université IUAV de Venise (Italie), Politecnico di Torino (Italie), Carnegie Mellon University (États-Unis), KTH (Suède), Lunds universitet (Suède), ZHdK (Suisse), LVA-INSA, LMA, CR-ICM, LAM, LAPPS, Ebam TALM, ENSCI, université de Strasbourg, Centre d'études techniques de l'équipement, IFSTTAR, Renault, PSA, SNCF, EDF, Klaxon, LAPS-Design, Genesis, Aximum, Univers Sons, Région Île-de-France.

ÉQUIPE

–

Chercheurs: J.-J. Aucouturier (CNRS), M. Ayari (université de Strasbourg), O. Houix, M. Liuni, N. Misdariis, P. Susini

Ingénieur: L. Seropian (CNRS)

Post-doctorants: L. Goupil, R. Leiba, E. Ponsot, M. Vannier, L. Zattra

Doctorants: P. Arias, L. Rachman

ÉQUIPE ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SONS (AS)

Responsable : Axel Roebel

ACTIVITÉS

–

L'équipe Analyse et synthèse des sons effectue des recherches et des développements en analyse, transformation et synthèse des signaux sonores.

L'analyse de sons comprend les méthodes permettant l'extraction ou la structuration automatique de divers types d'informations provenant du signal, comme la fréquence fondamentale ou les évolutions spectrales déterminant la hauteur et le timbre du son perçu.

Des informations non strictement musicales sont également prises en compte et intéressent des domaines tels que l'acoustique industrielle, le design sonore et le multimédia. On peut citer, en particulier, l'indexation automatique des enregistrements sonores. Les méthodes utilisées reposent sur le traitement du signal, l'analyse statistique, les techniques d'apprentissage et l'apprentissage profond, la reconnaissance des formes mais aussi sur la connaissance de la perception auditive.

Les techniques de transformation et la synthèse des sons sont d'abord conçues pour répondre aux demandes des musiciens pour la création de nouveaux sons et de nouvelles musiques. Un exemple typique en est la synthèse d'un chœur virtuel par un ordinateur sur la scène d'un opéra.

Ces travaux trouvent également de nombreuses applications dans des domaines tels que la téléphonie mobile, les jeux vidéo, l'aide à la navigation ou la réalité virtuelle en général. Analyse et synthèse reposent sur la conception, d'une part, de modèles de signaux (modélisation des effets des sons produits en termes de signaux) et, d'autre part, de modèles physiques (modélisation acoustique des causes de production en tant que sources sonores). Ces modèles sont implantés sous la forme de logiciels pour ordinateurs Macintosh, PC (Mac OS x, Windows et Linux), dotés d'interfaces graphiques spécifiquement conçues à l'intention d'utilisateurs professionnels ou non, musiciens, mais aussi ingénieurs du son, acousticiens et amateurs.

DOMAINES DE COMPETENCE

–

Traitement du signal, statistiques, théorie de l'information, techniques d'apprentissage, reconnaissance des formes, analyse numérique, modélisation.

THEMATIQUES ET PROJETS ASSOCIES:

–

- Modèles de signaux: Traitements par vocodeur de phase (p. 34)
- Caractérisation des sons: Indexation automatique (p. 28), projets Skat-VG (p.45), 3DTVS (p. 37)
- Analyse, transformation et synthèse de la voix et de la parole, modèles de voix, conversion des locuteurs: projet Chanter (p. 44)
- Analyse de scènes sonores: projets 3DTVS (p. 37), Houle (p. 62)
- Logiciels: SuperVP (p. 76), Audiosculpt (p. 66), IRCAMLab TS (p. 68), The Snail-Absolute Tuning (p. 77)

COLLABORATIONS

–

Aalto University (Finlande), Ableton (Allemagne), Acapela Group, Acoustic Research Institute (Autriche), AudioGaming, Arte, Artipolis (Luxembourg), Dualo, Mines ParisTech, Exalead, ExeQuo, France Télécom R&D / Orange, Flying Eye (Allemagne), Game Audio Factory, Genesis SA, HHI Berlin (Allemagne), Idol, INESC, ISAE-SUPAERO, ISIR/Sorbonne Université, IUAV (Italie), Kantar Media, KTH (Suède), LIMSI, LMA, LIA, Laboratoire Parole et Langage - Hôpital La Conception, NuHag (Autriche), OFAI, ParisTech, Queen Mary University of London (Royaume-Uni), SCREAM National Cheng Kung University (Taïwan), Sky Deutschland (Allemagne), Smartlog, Smartsound, Sony Music France, Stupeflix, Ubisoft, UPF/MTG (Espagne), université Huddersfield (Royaume-Uni), université Lumière-Lyon-2, université Paris-8, Univers Sons (UVI), Viddiga, Vizion'R, Voxygen, Yacast.Deutschland (Allemagne), Smartlog, Smartsound, Sony Music France, Stupeflix, Ubisoft, UPF/MTG (Espagne).

ÉQUIPE

–

Chercheurs: N. Obin (Sorbonne Université), G. Peeters, A. Roebel

Ingénieurs: F. Cornu, C. Picasso

Post-doctorants: D. Fourer, R. Mignot, P. Lafitte, D. Basaran

Doctorants: H. Caracalla, A. Cohen Hadria, G. Doras, R. A. Ferro Mendes, H. Fouroughmand, C. Jacques, P. C. Li, Y. J. Lin, G. Meseguer Brocal

Résidences/invités/collaborations longues: J. Smith

ÉQUIPE INTERACTION SON MUSIQUE MOUVEMENT (ISMM)

Responsable : Frédéric Bevilacqua

ACTIVITÉS

–

L'équipe Interaction son musique mouvement (précédemment : Interactions musicales temps réel) mène des recherches et des développements sur les systèmes interactifs dédiés à la musique et au spectacle vivant.

Nos travaux concernent toute la chaîne du processus interactif, comprenant la captation et l'analyse multimodale de gestes et sons d'instrumentistes, les outils de synchronisation et de gestion de l'interaction, ainsi que des techniques de synthèse et traitement sonore temps réel. Ces recherches et leurs développements informatiques associés sont généralement réalisés dans le cadre de projets interdisciplinaires, intégrant scientifiques, artistes, pédagogues, designers et trouvent des applications dans des projets de création artistique, de pédagogie musicale, apprentissage du mouvement, ou encore dans des domaines industriels de l'audio numérique.

THÉMATIQUES ET PROJETS ASSOCIÉS

–

- Modélisation et analyse de sons et gestes : ce thème regroupe les développements théoriques concernant l'analyse de flux sonores et gestuels ou plus généralement de morphologies temporelles multimodales. Ces recherches concernent diverses techniques d'analyse audio, l'étude du jeu d'instrumentistes ou de gestes dansés (cf. Analyse et reconnaissance du geste p. 41).
- Technologies pour l'interaction multimodale : ce thème concerne nos outils d'analyse et de reconnaissance multimodale de gestes et son, d'outils et de synchronisation (suivi de geste par exemple) et de visualisation.
- Synthèse et traitement sonore interactif : ce thème regroupe essentiellement des méthodes de synthèse et traitement sonore basées sur des sons enregistrés ou de large corpus sonores (cf. Synthèse concaténative par corpus, p. 32).
- Systèmes de captation de gestes et instruments augmentés : ce thème concerne nos développements d'interfaces gestuelles et d'instruments augmentés pour la musique et le spectacle vivant (cf. Instruments augmentés, p. 29).

PROJETS NATIONAUX ET EUROPÉENS

–

- Legos (p. 47)
- COSIMA (p. 59)
- SkAT-VG (p. 45)
- Rapid-Mix (p. 58)
- Musicbricks (p. 44)
- Wave (p. 61)

DOMAINES DE COMPÉTENCE

–

Interactivité, informatique temps réel, interaction homme-machine, traitement de signal, captation du mouvement, modélisation du son et du geste, modélisation statistique et apprentissage automatique, analyse et synthèse sonore temps réel.

COLLABORATIONS

–

Atelier des feuillantes, BEK (Norvège), CNMAT Berkeley (États-Unis), Cycling'74 (États-Unis), ENSAD, ENSCI, GRAME, HKU (Pays-Bas), Hôpital Pitié-Salpêtrière, ICK Amsterdam (Pays-Bas), IEM (Autriche), ISIR-CNRS Sorbonne Université, Little Heart Movement, Mogeas (Royaume-Uni/Italie), No Design, Motion Bank (Allemagne), LPP-CNRS université Paris-Descartes, université Pompeu Fabra (Espagne), UserStudio, CRI-Paris université Paris-Descartes, Goldsmiths University of London (Royaume-Uni), université de Genève (Suisse), LIMSI-CNRS université Paris-Sud, LRI-CNRS université Paris-Sud, Orbe.mobi, Plux (Portugal), ReactTable Systems (Espagne), UCL (Royaume-Uni), Univers Sons/Ultimate Sound bank, Universidad Carlos III Madrid (Espagne), université de Gênes (Italie), université McGill (Canada), ZHDK (Suisse).

ÉQUIPE

–

Chercheurs : F. Bevilacqua, D. Schwarz,

Ingénieurs : R. Borghesi, J.-P. Lambert, B. Matuszewski

Doctorants : P. Antoniadis, H. Scurto, Y. Zeitoun

Résidence/invités/colloborations longues : B. Caramiaux (CNRS), M. Suarez Cifuentes, J. Françoise (CNRS)

ÉQUIPE REPRÉSENTATIONS MUSICALES (REPMUS)

Responsable : Gérard Assayag

ACTIVITÉS

–

L'équipe Représentations musicales travaille sur les structures formelles de la musique et les environnements créatifs pour la composition et l'interaction musicales. Ces travaux mènent à des applications dans les domaines de la composition assistée par ordinateur (CAO), de la performance, de l'improvisation, de l'interprétation et de la musicologie computationnelle. La réflexion sur les représentations de haut niveau des concepts et des structures musicales, appuyée sur les langages informatiques originaux développés par l'équipe, débouche sur l'implantation de modèles qui peuvent se tourner vers l'analyse musicale comme vers la création.

Sur le versant musicologique, les outils de représentation et de modélisation permettent une approche véritablement expérimentale qui dynamise de manière significative cette discipline.

Sur le versant création, l'objectif est de concevoir des compagnons musicaux qui interagissent avec les compositeurs, musiciens, ingénieurs du son... dans toutes les phases du workflow musical. Les logiciels développés ont pu être diffusés vers une communauté importante de musiciens, concrétisant des formes de pensée originales liées à cette caractéristique particulière des supports informatiques qu'ils peuvent représenter (et exécuter) à la fois la partition finale, ses divers niveaux d'élaboration formelle, ses générateurs algorithmiques et interagir dans le vif de la performance.

L'équipe intègre depuis quelques années l'interaction symbolique et la créativité artificielle à travers ses travaux sur l'écoute artificielle, la synchronisation de signaux musicaux et le suivi de partitions (thématique qui a donné lieu à une équipe projet Inria), l'aide à l'orchestration (s'appuyant sur l'analyse des séries temporelles et des techniques d'apprentissage profond) ainsi que l'ingénierie des agents intelligents capables d'écoute, d'apprentissage et d'interaction musicale dans les contextes improvisés.

L'équipe a une longue histoire de collaboration intensive avec des compositeurs et musiciens, qu'ils soient internes ou externes à l'Ircam. Les trois tomes de l'ouvrage *OM Composer's Book* archivent ces travaux et garantissent leur diffusion internationale et leur pérennité.

PRINCIPALES THÉMATIQUES ET PROJET ASSOCIÉS

–

- Composition assistée par ordinateur : Composition assistée (p. 52), Aide à l'orchestration (p. 30)
- Contrôle de la synthèse et de la spatialisation, systèmes créatifs pour l'écriture du temps, du son, de l'espace et de l'interaction

- Mathématique et musique (p. 56)
- Langages informatiques pour la musique : OpenMusic (p. 7), Antoscofo (p.65)
- Modélisation du style, dynamiques de l'interaction improvisée : Interactions musicales improvisées (p. 55), DYCi2 (p. 51)
- Nouvelles interfaces pour le compositeur et le pédagogue
- Musicologie et analyse computationnelles
- Recherche efficace de séries temporelles (p. 30)
- Écriture du temps synchrone (p. 54)
- Projet EfficacE (p. 60), projet Inedit (p. 61)
- Papier augmenté pour la CAO (p. 43)

DOMAINE DE COMPÉTENCE

–

Composition et analyse assistées par ordinateur, musicologie computationnelle, musicologie cognitive, intelligence artificielle, langages informatiques, apprentissage automatique, méthodes algébriques et géométriques, interactions symboliques, langage temps réel synchrone et temporisé, notations exécutables.

COLLABORATIONS

–

Bergen Center for Electronic Arts (NO), CIRMMT/ McGill University (CA), City University London, Conservatoire national supérieur de musique et danse de Paris, Columbia New York, CNMAT/UC Berkeley, Electronic Music Foundation, Gmem, Grame Lyon, HEM Genève, École normale supérieure Paris, EsMuC Barcelone, Harvard University, Inria, IReMus - Sorbonne Paris-4, Jyväskylä University, université de Bologne, USC Los Angeles, université Marc Bloch Strasbourg, Pontificad Javeriana Cali, université Paris-Sud Orsay, université de Pise, Sorbonne Université, UCSD San Diego, université de Yale, université du Minnesota, université de Washington.

ÉQUIPE

–

Chercheurs : C. Agon Amado (Sorbonne Université), M. Andreatta, (CNRS), G. Assayag, M. Ayari (université de Strasbourg), G. Bloch, J. Bresson, P. Esling (Sorbonne Université), J.-L. Giavitto (CNRS), K. Haddad, F. Jacquemard (Inria), M. Malt,

Post-doctorants : E. C. Cella, J. Nika

Doctorants : J. Blondeau, D. Cabanzo, T. Carsault, A. Chemla-Romeu-Santos, L. Crestel, K. Deguernel, P. Donat-Bouillud, J.-M. Fernandez, G. Genuys, D. Ghisi, F. Le Bel, L. Morciano, C. Poncelet, M. Prang, A. Ratoci, P. Talbot

Résidences/invités/collaborations longues : A. Farhang, M. Magalhaes, C. Rueda

ÉQUIPE ANALYSE DES PRATIQUES MUSICALES (APM)

Responsable: Nicolas Donin

ACTIVITÉS

–

L'équipe Analyse des pratiques musicales mène des recherches sur les œuvres et pratiques musicales savantes qui constituent le cœur de l'activité de l'Ircam : composition, improvisation, interprétation.

Pour ce faire, l'équipe développe une musicologie empirique et technologique qui vise à décrire (et éventuellement à modifier) des savoirs extérieurs à l'analyste, grâce à des méthodes originales de constitution des données. Il s'agit de rendre compte des phénomènes considérés sans les réduire a priori à leur structuration apparente (procédures formalisables, information textuelle), mais au contraire en les abordant en tant que complexités dynamiques, créatrices, situées, sociales et culturelles.

Cela s'applique aussi bien à l'étude d'activités et situations contemporaines (par exemple travail de l'interprète à domicile, en répétition, en concert ; composition d'une œuvre utilisant l'informatique musicale ; réalisation d'une analyse musicale multimédia à vocation pédagogique ; etc.) qu'à l'étude de pratiques passées. Les différents projets que nous menons présentent des configurations interdisciplinaires, technologiques et sociales très diverses en fonction des objets d'étude. Ainsi, l'étude de l'activité de composition de Philippe Leroux à l'Ircam entre 2001 et 2006, a-t-elle demandé un croisement entre génétique textuelle et anthropologie cognitive ; elle coïncidait et interférait avec l'élaboration d'une nouvelle œuvre par le compositeur ; enfin, elle s'est effectuée en relation avec la conception d'une documentation hypermédia sur le processus créateur et la façon dont le compositeur écoute son œuvre. Ou encore : l'étude « analyse musicale » en France (fin XIX^e, début XX^e) a supposé la mise en relation d'une enquête micro-historique sur les conditions d'écriture et de réception de ces textes, avec une généalogie critique des procédures de segmentation et de mise en tableau aux XIX^e et XX^e siècles ; elle a débouché sur la conception d'un outil informatique d'aide à l'analyse musicale.

Ces travaux sont diffusés par des publications et colloques au sein des différentes communautés scientifiques concernées (principalement la musicologie historique, l'analyse musicale, l'ergonomie cognitive, la sociologie, la critique génétique et l'informatique musicale) ; ils font aussi l'objet d'autres formes de dissémination (conception d'outils informatiques et de documents hypermédiés, courts-métrages documentaires, enseignement et conférences, etc.).

PRINCIPALES THÉMATIQUES ET PROJET ASSOCIÉS

–

- Analyse de la composition: projet Gemme (p. 60)
- Pratiques de l'interprétation
- Pratiques d'écoute contemporaines
- Pratiques d'écoute et d'analyse musicale: approche historique
- Musicologie & sciences humaines/travaux de synthèse: Théories de la composition musicale au XX^e siècle (p. 57)
- Outils de publication multimédia pour la musicologie (p. 56), projet Wave (p. 61)
- Projet Wasabi (p. 25)
- Projet MICA (p. 48)

COLLABORATIONS

–

Centre de recherches sur les arts et le langage (EHESS, CNRS), CIRMMT/McGill University (États-Unis), Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris, Faculté de musique de l'université d'Oxford, Haute École de musique/conservatoire de Genève, Institut des textes et manuscrits modernes (CNRS-ENS UIm), OICRM/université de Montréal.

ÉQUIPE

–

Chercheurs: A. Bonardi, C. Canonne (CNRS), N. Donin, L. Feneyrou (CNRS), F.-X. Féron (CNRS)

Post-doctorants: F. Ribac (délégation CNRS), A. Robert (Sorbonne Université), L. Zattra

Résidences/invités/collaborations longues: A.-S. Barthel-Calvet, A. Fryberger

3



LES PROJETS



//////////////////// C1. L'ATELIER DU SON

PROJET FUTUREPULSE



Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Financement : programme H2020 ICT-19-2017

Période de réalisation : septembre 2017 – août 2020

Partenaires : Bmat (coordinateur, Espagne), Athens Technology Center (Grèce), Musimap (Belgique), Playground (Suède),

Bass Nation (Finlande), Soundtrack Your Brand (Suède)

L'industrie musicale connaît actuellement une importante mutation liée à la montée en charge du streaming, des médias sociaux et des technologies de convergence. La disponibilité de très grands catalogues fait des fonctions de recommandation et de découverte des éléments clés de compétitivité entre acteurs commerciaux, tandis que l'accès en continu à de multiples sources de consommation musicale donne naissance à des pratiques dynamiques, caractérisées par une grande diversité de goûts et une volatilité des préférences en fonction du contexte d'écoute.

Afin de répondre aux besoins de plus en plus complexes de l'écosystème musical, le projet FuturePulse s'attache au développement d'une plateforme technologique de marketing analytique destinée à trois secteurs de l'industrie musicale à fort impact :

- l'édition phonographique
- la production de concerts
- les plateformes de diffusion en ligne

L'enjeu du projet est d'aider les acteurs du domaine à tirer parti d'une variété de données, allant des contenus de diffusion (télévision, radio) et de streaming aux statistiques de ventes et aux flux de discussions, d'interactions et de contenus sur les médias sociaux, au moyen d'analyses élaborées et de services de modélisation prédictive pour prendre des décisions commerciales éclairées, mieux comprendre leur public et les tendances futures de la musique et aller vers une meilleure efficacité et rentabilité de la distribution musicale.

L'Ircam intervient dans le projet par l'adaptation et le perfectionnement de ses technologies d'indexation, permettant l'extraction automatisée d'informations à partir d'enregistrements musicaux.

PROJET IMUSCICA

Équipe concernée : Systèmes et signaux sonores : audio/acoustique, instruments

Financement : programme H2020 ICT-22-2016

Période de réalisation : janvier 2017- juin 2019

Partenaires : Athena Research Center (coordinateur, Grèce), UC Limburg (Belgique), Ellinogermaniki Agogi (Grèce), 3D for All Kft (Hongrie), Cabrilog (France), Mathematics for more (Espagne), université de Fribourg (Suisse)

iMuSciCA est un projet pédagogique qui vise à améliorer l'acquisition des compétences scientifiques dans l'enseignement secondaire. iMuSciCA apporte de nouvelles méthodologies d'apprentissage et s'appuie sur des technologies innovantes, sur un mode personnalisé et collaboratif de « découverte » afin de rendre de certains enseignements scientifiques - en particulier les maths et la physique - plus motivants. Via Modalys, l'UMR STMS apporte ses compétences de lutherie musicale virtuelle afin de donner vie à des instruments 3D élaborés par l'élève et dont certains paramètres (géométrie, matériau, etc.) sont modifiables et testables en temps réel. L'environnement iMuSciCA, implémenté grâce à une collaboration étroite entre différents acteurs industriels et académiques, sera testé et évalué dans un programme pilote, avec un nombre substantiel d'élèves et d'enseignants, dans trois pays européens : Belgique, France et Grèce.

PROJET WASABI

Web Audio Semantic Aggregated in the Browser for Indexation

—

Services concernés : équipes Analyse des pratiques musicales et

Analyse/synthèse des sons, Centre de ressources de l'Ircam

Financement : ANR, programme générique

Période de réalisation : octobre 2016 - mars 2021

Partenaires : I3S (coordinateur), Parisson, Deezer, Radio France

Le projet propose de définir une méthodologie d'optimisation de l'indexation musicale dans un contexte Web et pour de très grands corpus de données par l'utilisation conjointe de métadonnées issues de l'analyse audio, du Web sémantique, de l'analyse en langage naturel des paroles de chansons, puis de confronter cette méthodologie à des cas d'usages en développant des services et des applications originales exploitant les technologies Web audio.

Il s'agit donc d'utiliser conjointement les algorithmes d'extraction d'information musicale et le Web sémantique afin de produire des bases de connaissances musicales plus consistantes pour les services de streaming et les bases de données musicales. Les services de données du Web sémantique (LastFM, MusicBrainz, DBPedia, etc.) favoriseront l'extraction de données structurées, liant les œuvres à des métadonnées telles que le producteur, le studio d'enregistrement, le compositeur, l'année de diffusion, les thèmes qui y sont abordés, par exemple. Les données en texte libre comme les paroles seront aussi analysées pour déterminer le contexte musical de l'œuvre. Les technologies Web audio permettront enfin d'explorer ces espaces musicaux enrichis par des analyses de type indexation musicale de haut niveau: détection d'émotion, détection de plagiat, détection et caractérisation de voix chantée, détection de structure et séparation de sources.

Il sera proposé une suite de briques logicielles open source et de services en ligne de type « open data » pour :

- la visualisation de métadonnées audio et l'écoute de pistes démixées dans le navigateur en exploitant les dernières technologies issues de la Web Audio API (mixage temps réel, effets audio)
- le traitement automatique de textes de chansons, reconnaissance et liage d'entités nommées, d'annotation et correction collaborative,
- l'accès à un service Web doté d'une API proposant un environnement d'étude de similarités musicales issu des analyses audio et sémantiques.

Ces briques logicielles serviront au développement des démonstrateurs formalisés avec nos partenaires et collaborateurs (journalistes et compositeurs), utilisant le nouveau standard Web Audio API et permettant ainsi le développement d'applications musicales accessibles au grand public depuis un navigateur Web.

PROJET MOUVIE

Mobilité et Qualité de Vie en Milieu Urbain

Équipe concernée : Perception et design sonores

Programme : Chaire d'Excellence — Fondation Sorbonne Université

Période de réalisation : avril 2014 — avril 2019

Collaborations : OSU Ecce Terra, Laboratoire Atmosphère, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS), Inserm, Sorbonne Université — Institut Jean le Rond d'Alembert (équipe MPIA)

L'interaction des pollutions atmosphérique et acoustique sur la santé des populations citadines.

La chaire sur la mobilité & qualité de vie en milieu urbain va mesurer les impacts de la pollution par les gaz, les particules et le bruit sur la qualité de vie et la santé des habitants d'une ville. Confrontés à cet enjeu sociétal, les constructeurs automobiles PSA Peugeot Citroën et Renault ont pris toute la mesure de la nécessité de soutenir le projet de recherche en mécénat que Sorbonne Université mène avec l'Inserm, le Laboratoire Atmosphère, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS), l'OSU Ecce Terra, l'Institut Jean-le-Rond-d'Alembert et l'Ircam. « En prenant en compte les multiples facteurs de la pollution chimique de l'air mais aussi des sources de pollution non conventionnelles comme le bruit, la chaire semble pouvoir apporter à la notion d'environnement urbain une nouvelle dimension... » commente Laurence Eymard, titulaire de la chaire.

Une équipe d'experts pluridisciplinaires engagée dans une dynamique de recherche commune.

À la tête d'une équipe pluridisciplinaire d'experts en acoustique, en qualité de l'air et en santé, Laurence Eymard anime une communauté scientifique de plus de 1000 personnes spécialisées dans les sciences du système Terre et de l'environnement, de la biodiversité à la santé, de la Terre profonde à la planétologie et au climat. Régis Marchiano, professeur à Sorbonne Université, travaille sur la propagation des ondes acoustiques linéaires et non linéaires en milieux complexes à l'Institut Jean le Rond d'Alembert Sorbonne Université/CNRS. Nicolas Misdariis est responsable-adjoint de l'équipe « Perception et design sonores » de l'Ircam. Les recherches de Sébastien Payan, professeur des universités à Sorbonne Université et chercheur au LATMOS, IPSL/UVSQ/Sorbonne Université/IPSL s'articulent autour de plusieurs axes à l'interface entre la physique moléculaire et la physique de l'atmosphère. Côté santé, Isabella Annesi-Maesano, responsable de l'équipe Epidémiologie des maladies allergiques et respiratoires (EPAR, INSERM/Sorbonne Université), mène des travaux de recherche sur la compréhension de l'étiologie de la rhinite, l'asthme, la broncho-pneumopathie chronique



obstructive et identifie les sujets à risque. Annick Clément, professeur de pédiatrie à Sorbonne Université, dirige le service de pneumologie pédiatrique de l'hôpital Trousseau. Elle anime au niveau européen un groupe de recherche sur les pathologies pulmonaires rares de l'enfant et siège dans de nombreux conseils scientifiques en France et à l'étranger.

Des enjeux majeurs pour les entreprises mécènes de cette nouvelle chaire.

Sylvain Allano, directeur scientifique et technologies futures de PSA Peugeot Citroën : « Le cadre d'une chaire de mécénat nous a semblé particulièrement approprié pour promouvoir des recherches pluridisciplinaires de haut niveau scientifique dans des domaines à forte dimension sociétale, comme ceux de la qualité de l'air et des nuisances sonores. En effet, les résultats de ces recherches devraient contribuer à fournir des bases scientifiques solides et reconnues qui manquent souvent dans les débats sociétaux et environnementaux. » Rémi Bastien, directeur engineering innovation de Renault : « La société a des attentes fortes pour que la mobilité, qui est à la fois une nécessité et une liberté fondamentale, puisse contribuer à une meilleure qualité de vie, spécialement en milieu urbain. Les formes de mobilités actuelles portent en elles des nuisances de moins en moins acceptables. En tant qu'industriels, nous faisons partie du problème et voulons être acteurs de la solution. La meilleure façon d'y répondre est de coopérer avec des scientifiques pluridisciplinaires de haut niveau et cette nouvelle chaire est pour nous une opportunité unique de préparer des solutions durables et fiables appuyées sur une expertise scientifique approfondie. » Claire Martin, directrice de la responsabilité sociale des entreprises (RSE) et de la Fondation Renault : « Plus les impacts seront compris dans leur complexité, plus les pouvoirs publics et les industriels seront en mesure d'y apporter des réponses pertinentes. Par ailleurs, il est légitime et nécessaire de toujours chercher à mieux analyser la réalité des phénomènes dans leurs dimensions techniques, économiques, sociales, sanitaires... pour formuler vis-à-vis de tous les publics des messages clairs et objectifs ».

PROJET 3DR3

Room Impulse Response Renderer

—

Services concernés : équipe Espaces acoustiques et cognitifs, département Production

Le projet 3DR3 réunit l'équipe EAC (UMR STMS) et l'équipe Son (Production) autour du développement d'un environnement générique de mixage multicanal (cf. logiciel Panoramix p. 74) exploitant un modèle original de réverbération hybride récemment développé par l'équipe EAC. Ce modèle innovant tire avantage des réverbérateurs à convolution qui reproduisent fidèlement la sonorité « naturelle » de la réverbération mesurée dans une salle comparativement aux réverbérateurs à retards rebouclés. Il en étend cependant le principe au cas des réponses spatialisées (cf. Analyse du champ sonore par réseaux sphériques de transducteurs ci-contre) et y adjoint la flexibilité du Spat~ et son mode de contrôle par facteurs perceptifs. La mise en espace 3D des différentes sources exploite des réponses impulsionnelles de salles enregistrées dans le lieu même du concert et assure ainsi une intégration naturelle avec la prise de son principale. L'application emblématique de ce développement est la captation, le mixage et la diffusion 3D des œuvres spatialisées.

ANALYSE DU CHAMP SONORE PAR RÉSEAUX SPHÉRIQUES DE TRANSDUCTEURS

—

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

Collaborations extérieures : université Ben Gurion, Supelec

Les propriétés spatiales d'un champ sonore sont déterminantes pour la perception des sons dans une salle. Ces propriétés spatiales sont traditionnellement étudiées en s'appuyant séparément, soit sur des réseaux de microphones, soit sur des réseaux de haut-parleurs. Les mesures combinant simultanément des réseaux microphoniques et des réseaux de haut-parleurs, dénommés MIMO (multiple-input multiple-output) permettent d'enrichir la description du champ sonore. En recourant à des systèmes MIMO, les réponses impulsionnelles de salle peuvent être représentées de manière matricielle et l'analyse des propriétés spatiales du champ sonore peut faire appel aux outils de l'algèbre linéaire. Par exemple, le rang de la matrice et son noyau permettent de révéler des informations intéressantes comme le nombre de réflexions significatives, leur direction d'incidence sur le microphone et leur direction d'émission depuis le haut-parleur. Ce projet fait l'objet de travaux théoriques sur la formalisation du problème et l'optimisation des réseaux de transducteurs sphériques et associe par ailleurs un volet expérimental consacré à l'analyse acoustique des salles.

© Olivier Warusfel



Mesures acoustiques au Grosses Festspielhaus de Salzburg combinant un microphone sphérique (64 capsules) développé à l'Ircam et un réseau sphérique de haut-parleurs développé au RWTH (Aachen).

INDEXATION AUTOMATIQUE DE MORCEAUX DE MUSIQUE

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Dans le cadre de différents projets présentés ci-après, sont élaborées:

- Des méthodes d'extraction automatique de caractéristiques musicales d'un morceau de musique, de type tempo, position des battues, métrique, tonalité ou suite temporelle d'accords. Ces caractéristiques permettent, par exemple, le classement automatique d'un morceau, la recherche par le contenu et la recherche par similarité dans une base de données ou catalogue de titres musicaux;
- Des méthodes de reconnaissance d'extraits musicaux, destinées à l'identification automatique d'extraits de morceaux de musique à partir de bases d'ayants droit. Reposant sur une signature sonore compacte codant l'essentiel de l'information, ces algorithmes comparent chaque fragment du son à identifier à ceux de la base de données de référence;
- Des méthodes d'estimation de la structure temporelle d'un morceau en termes de répétition de partie au cours du temps qui permettent, lors de l'écoute, la navigation à l'intérieur de la structure temporelle du morceau;
- Des méthodes de création automatique de résumés audio permettant des pré-écoutes rapides du contenu d'un morceau par ses points clefs.

PROJET INFIDHEM

Systèmes interconnectés de dimension infinie pour les milieux hétérogènes

Équipe concernée : Systèmes et signaux sonores :

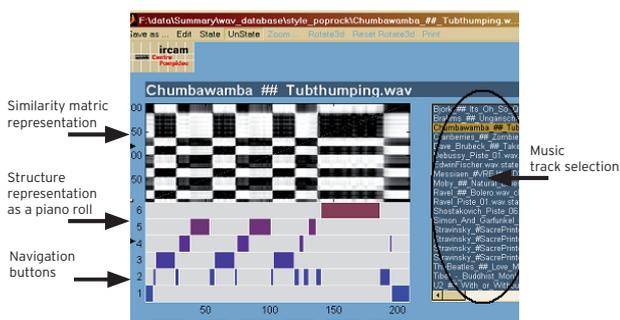
audio/acoustique, instruments

Financement : ANR/DFG

Période de réalisation : février 2017 - janvier 2020

Partenaires : Deutsche Forschungsgemeinschaft, ISAE SUPAERO (Toulouse), LACEP (Lyon), Kiel University

Motivés par les progrès technologiques récents dans les domaines de la mécanique, de l'aéronautique, des systèmes énergétiques et de l'ingénierie chimique et des nouveaux outils de calcul, l'analyse et le contrôle des systèmes à dimension infinie sont devenus un sujet d'intérêt majeur ces dernières décennies. Les concepts de base de la théorie des systèmes classiques ont été progressivement généralisés à des systèmes à dimension infinie avec des contributions issues de la communauté mathématique et de la communauté des ingénieurs. Plus récemment, les scientifiques se sont intéressés à la compréhension de systèmes composés de sous-systèmes à paramètres distribués (décrits par des systèmes d'équations aux dérivées partielles, des EDP) qui interagissent dans les réseaux. La majeure partie de la littérature existante sur la modélisation, l'analyse et le contrôle de systèmes, traite des réseaux de systèmes homogènes tels que les formes de barres élastiques ou les propriétés de conductivité thermique des mousses métalliques.



Représentation de la structure temporelle d'un morceau de musique par analyse de signal (projets Cuidado-SemanticHIFI-Ecoute).

INSTRUMENTS AUGMENTÉS

—
Équipes concernées : Interaction son musique mouvement,
Systèmes et signaux sonores : audio/acoustique, instruments

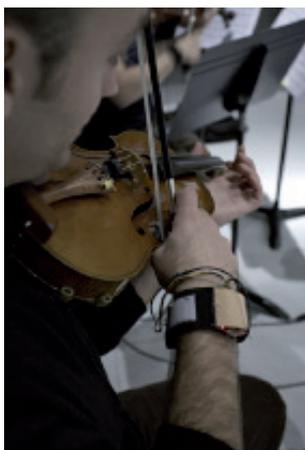
Les instruments augmentés correspondent à des instruments acoustiques auxquels sont intégrés des capteurs, afin de transmettre en temps réel des paramètres gestuels. Ces instruments sont spécialement bien adaptés au contexte de musique mixte acoustique et électronique.

Ces travaux s'effectuent en étroite relation avec des compositeurs et interprètes dont le but est d'intégrer ces technologies dans leurs œuvres.

Ces développements s'inscrivent également dans le cadre de recherche sur le geste instrumental.

Ce projet avait été initié par le développement du « violon augmenté », qui s'est fortement développé, en raison d'un intérêt accru des compositeurs. Nous travaillons désormais sur tous les instruments du quatuor à cordes, ainsi que sur certains instruments de percussions et le piano. Diverses techniques informatiques sont également développées pour analyser, reconnaître et suivre les gestes instrumentaux. Par exemple, un vocabulaire d'éléments musicaux comme des modes de jeux ou des phrases musicales peut être défini par le compositeur, et servir de base pour l'interaction avec des processus sonores comme la synthèse ou la spatialisation.

Finalement, il est à noter que les instruments augmentés sont utilisés dans des créations musicales mais également dans le cadre d'applications pédagogiques.



Violon augmenté.
(© Florian Kleinefenn).

LUTHERIE AUGMENTÉE

—
Équipe concernée : Systèmes et signaux sonores : audio/acoustique, instruments

Le projet « Lutherie Augmentée » est au cœur des recherches sur les instruments de musique. Il a produit des prototypes d'instruments ou parties d'instruments utilisables en concert. On peut citer par exemple l'élargissement de la gamme de sourdines des cuivres, l'étude d'un dispositif d'accord automatique pour la timbale et la réalisation d'un bec de clarinette à volume variable, ou encore un archet et un bec instrumentés par plusieurs capteurs.

De plus, l'Ircam conçoit et possède un instrumentarium de SmartInstruments (guitares, quatuor à cordes, clarinette basse, sourdines de cuivres) munis de capteurs et d'actionneurs, dont les propriétés acoustiques sont modifiables par l'instrumentiste ou le compositeur, et qui diffusent des sons d'origines diverses sans enceinte extérieure. Cela a amené à la réalisation de COALA, système embarqué de contrôle actif à très faible latence pour SmartInstruments.

ORCHESTRATION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (ORCHIDS)

Équipe concernée : Représentations musicales

Cas singulier et récent de l'aide informatisée à la composition, ce projet aborde la question de l'orchestration par la recherche automatique d'instrumentations et de superpositions d'instruments approchant, en fonction de différents critères de similarité acoustique, une cible définie par le compositeur. Les recherches actuelles s'attachent à étendre ce paradigme à l'orchestration dynamique, suivant des cibles dont les caractéristiques sonores varient au cours du temps.

Réalisé à la suite du logiciel Orchidée, Orchids est le premier système complet pour l'orchestration temporelle assistée par ordinateur et l'optimisation de mélanges de timbres. Il fournit un ensemble d'algorithmes permettant de reconstruire n'importe quelle cible sonore évoluant dans le temps par une combinaison d'instruments ou échantillons, selon un ensemble de critères psycho-acoustiques. Il peut aider les compositeurs à obtenir des couleurs de timbre inouïes en fournissant une multitude de solutions efficaces qui recréent au mieux cette cible sonore. Grâce à un ensemble étendu de fonctionnalités, Orchids peut également reproduire des évolutions et formes abstraites de mouvements spectraux. Ses résultats fournissent des partitions d'orchestre multiples pouvant être organisées de manière intuitive afin d'obtenir rapidement une réalisation d'idées orchestrales et musicales. Ce système fournit plusieurs algorithmes d'approximation permettant d'optimiser conjointement plusieurs propriétés de timbre. Les avantages du système Orchids résident dans le fait que cette approximation peut être faite séparément sur des formes temporelles, valeurs moyennes ou écarts-types (ou toute combinaison des trois) de chaque descripteur psychoacoustique. En outre, les utilisateurs peuvent également définir une déformation temporelle manuelle, et même effectuer une recherche multicible à l'intérieur de multiples segments sonores, offrant ainsi des réalisations de pièces orchestrales complètes en quelques secondes.

RECHERCHE EFFICACE DE SÉRIES TEMPORELLES

Équipe concernée : Représentations musicales

La recherche de sons peut s'avérer une tâche pénible et laborieuse dans le cas de bases de données massives. Même lorsque des méta-informations sont disponibles, les résultats restent souvent loin de la représentation mentale imaginée par l'utilisateur. Aucun système ne permet actuellement la projection intuitive d'une idée sonore en requête efficace, les échantillons sonores ne permettant pas la même extraction d'information de haut niveau que les chansons (e.g. mélodie, paroles).

Partant de cette observation, nous avons développé un système générique permettant d'effectuer des requêtes efficaces sur des formes temporelles et de prendre en compte la nature multidimensionnelle de la perception sonore. Celle-ci permet d'effectuer des requêtes basées sur la forme temporelle de descripteurs plutôt que sur de simples valeurs moyennées. Ces descripteurs sont modélisés pour obtenir leur moyenne, écart-type ainsi que la forme de leur évolution temporelle grâce à une représentation symbolique permettant à la fois un stockage compact et une recherche efficace. Cependant, il était primordial que la comparaison des séries temporelles permette d'obtenir une similarité basée sur des critères perceptifs pour des objets pouvant être mathématiquement très divergents. En utilisant une approche dérivant du Dynamic Time Warping (DTW), nous avons développé une mesure de similarité robuste suivant les distorsions non-linéaires aussi bien d'amplitude, de temps de bruit et de valeurs singulières. Grâce à un algorithme d'indexation novateur, il est possible d'obtenir presque instantanément le meilleur élément d'une base de plusieurs millions d'échantillons sonores.

Notre étude s'est ensuite ouverte à l'implémentation d'interactions de plus haut niveau. Nous avons étudié la possibilité d'une recherche pertinente sur plusieurs courbes temporelles simultanément, dépassant le cadre de la simple pondération de critères souvent peu pertinente. Grâce à une heuristique novatrice, nous avons réalisé le premier algorithme exact de recherche multi-objectif des séries temporelles.

Ces techniques s'appliquent à tous les champs de recherche scientifique de par l'ubiquité de l'information temporelle. La recherche multi-objective de séries temporelles ouvre à de nombreuses applications dans divers domaines allant de l'analyse médicale à la robotique.

Celle-ci permet également la mise en place d'un système de requête par imitation vocale basé sur de multiples descripteurs spectraux.

Toutes ces avancées ont été implémentées dans une interface utilisant la technologie multi-touch de l'iPad.

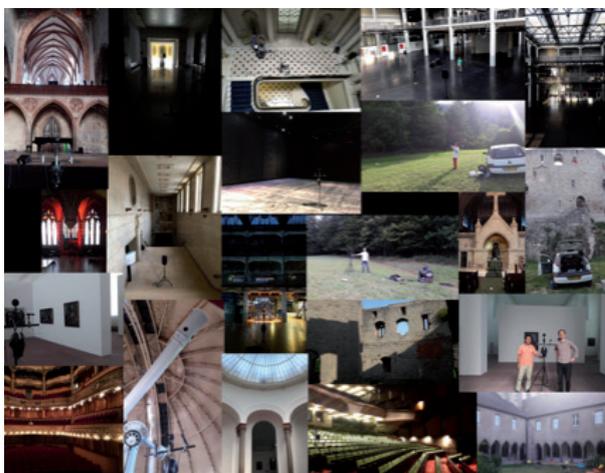
RÉVERBÉRATION HYBRIDE ET RÉPONSES IMPULSIONNELLES SPATIALISÉES

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

La plupart des réverbérateurs artificiels actuels s'appuient soit sur des réseaux de retards rebouclés (Feedback Delay Networks FDN), soit sur des moteurs de convolution. Ces approches se distinguent par le coût de calcul, l'«authenticité» du rendu, la flexibilité d'usage et l'adaptabilité vis-à-vis du dispositif de restitution. L'équipe EAC explore depuis plusieurs années une approche dite «hybride». À partir des réponses impulsionnelles mesurées (Impulse Responses IR), les réflexions précoces sont restituées par convolution, tandis que la partie tardive de la réverbération est synthétisée par un FDN qui approxime le relief de décroissance énergétique (Energy Decay Relief EDR) de l'IR. La transition entre les deux modes s'opère au temps de mélange, et le FDN est calibré de sorte à assurer la continuité de l'EDR, garantissant ainsi un rendu perceptivement indiscernable de l'IR originelle.

Cette technique hybride a été étendue à des IR spatialisées (Spatial Room Impulse Responses SRIR), mesurées avec des microphones sphériques (cf. ci-contre), de sorte à restituer la distribution spatiale des réflexions dans la salle.

Dans le cadre de la résidence de recherche artistique de Pedro Garcia-Velasquez et Augustin Muller, un travail artistique centré autour de la notion de «lieux sonores», a abouti à la constitution d'une bibliothèque de réponses impulsionnelles 3D pour la simulation de l'acoustique de lieux remarquables. Plutôt que de répertorier des empreintes de salles de concert à l'acoustique relativement homogène, cette bibliothèque privilégie des lieux plus atypiques autant par la singularité de leur signature acoustique que par leur pouvoir d'évocation.



Pêle-mêle des sites remarquables ayant fait l'objet d'une prise d'empreinte acoustique 3D.
Photo © P. Garcia-Velasquez, A. Muller

SPATIALISATION DISTRIBUÉE

Équipes concernées : Espaces acoustiques et cognitifs, Interaction son musique mouvement

La généralisation des dispositifs mobiles intégrant des fonctions de captation ou de diffusion sonore permet d'envisager de nouvelles applications de spatialisation s'appuyant non plus sur un ensemble de haut-parleurs distribués autour de l'audience mais sur le réseau des téléphones répartis au sein même du public. Dans un tel réseau, on peut imaginer que la diffusion spatiale ne soit plus supervisée de manière centrale mais procède de mécanismes de propagation. Le réseau spatial des mobiles constitue en quelque sorte le médium de propagation, chaque appareil réalisant une fonction élémentaire.

Différents scénarii d'usage de spatialisation distribuée ont été testés et ont suscité le développement d'une procédure de synchronisation adaptative des différents nœuds du réseau (cf. projet COSIMA p. 59).

Un environnement de programmation a été développé pour la gestion d'un parc de dispositifs mobiles répartis dans l'espace et a été utilisé dans le cadre de projets artistiques. Chaque dispositif se connecte à une page Web publiée par un serveur et télécharge un ou plusieurs modules réalisant des fonctions audio élémentaires (lecture de fichier, synthèse granulaire, convolution, etc.). Une interface de contrôle développée dans l'environnement Max/MSP permet d'adresser des messages au serveur de sorte à piloter le réseau. Différents cas d'usage ont été implantés comme la gestion de trajectoires ou d'effet d'échos ou de réverbération au sein de ce médium virtuel de propagation.



Interface de contrôle de l'environnement Nü pour la spatialisation sur un ensemble de dispositifs mobiles répartis dans l'espace.

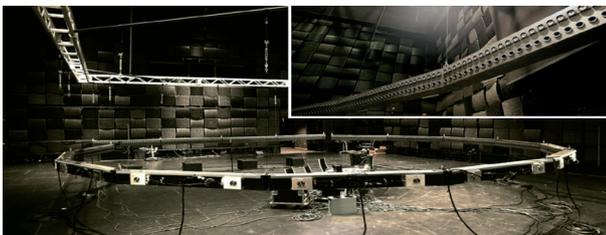
SYNTHÈSE DE CHAMPS SONORES PAR RÉSEAUX À HAUTE DENSITÉ SPATIALE

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs
Collaborations extérieures : EMPAC (Troy, États-Unis).

La recherche sur la synthèse de champ sonore reste un enjeu privilégié pour l'équipe EAC et trouve son application naturelle dans les productions musicales. Elle représente également un excellent vecteur de valorisation de nos développements et de collaboration avec des institutions de recherche et de création musicale prestigieuses.

Dans le cadre d'une collaboration de recherche avec le *Rensselaer Polytechnic Institute*, la salle de concert du *Curtis R. Priem Experimental Media and Performing Arts Center* (EMPAC) a été équipée d'un ambitieux dispositif de spatialisation sonore. Ce nouveau système est constitué d'un réseau de 512 haut-parleurs (16 modules de 31 haut-parleurs associés à un subwoofer) pour la diffusion en WFS (Wave Field Synthesis) et d'un dôme de 100 haut-parleurs pour une diffusion en HOA (High Order Ambisonics). L'espacement des transducteurs est de 5,8cm. Différents agencements géométriques des modules ont été testés, chacun permettant de tirer parti de façon optimale des différentes méthodes de synthèse de champ sonore. Par exemple, la superposition des modules permet de constituer une antenne rectiligne de 15m pour la diffusion en WFS avec des transducteurs distribués en quinconce et espacés de 2,9cm. La fréquence de repliement spatial est ainsi rejetée au-delà du spectre audible et permet d'obtenir une reconstruction du champ sonore saisissante.

Disposés sous forme d'une ceinture polygonale, ces modules permettent, cette fois, de constituer un dispositif de reproduction HOA 2D à l'ordre $N=250$. Les haut-parleurs constituant le dispositif sont contrôlés indépendamment par une ferme d'ordinateurs gérant en temps réel la spatialisation des sources sonores. L'un des enjeux majeurs de cette recherche est la mise en pratique du contrôle de champ sonore multizone.



Dispositif de restitution sonore WFS - HOA du Curtis R. Priem Experimental Media and Performing Arts Center au Rensselaer Polytechnic Institute de Troy (US). Le dispositif est constitué de 16 antennes linéaires de haut-parleurs espacés de 5,8cm, ici configurées pour une diffusion HOA bi-dimensionnelle.

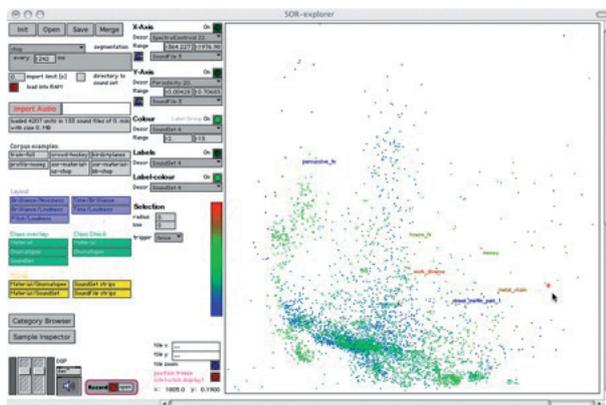
Photo © Markus Noisternig

SYNTHÈSE CONCATÉNATIVE PAR CORPUS

Équipe concernée : Interaction son musique mouvement

La synthèse concaténative par corpus utilise une base de données de sons enregistrés, segmentés et indexés par des descripteurs sonores. Cette base, nommée corpus, est exploitée par un algorithme de sélection d'unités qui choisit les segments du corpus qui conviennent le mieux pour la séquence musicale que l'on souhaite synthétiser par concaténation. La sélection est fondée sur les descripteurs sonores qui caractérisent les enregistrements, obtenus par analyse du signal et correspondant par exemple à la hauteur, à l'énergie ou au spectre.

Les méthodes de synthèse musicale habituelles sont fondées sur un modèle du signal sonore, mais il est très difficile d'établir un modèle qui préserverait la totalité des détails et de la finesse du son. En revanche, la synthèse concaténative, qui utilise des enregistrements réels, préserve ces détails. La mise en œuvre de la nouvelle approche de synthèse sonore concaténative par corpus en temps réel permet une exploration interactive d'une base sonore et une composition granulaire ciblée par des caractéristiques sonores précises, et permet aux compositeurs et musiciens d'atteindre de nouvelles sonorités. Si la position cible de la synthèse est obtenue par analyse d'un signal audio en entrée, on parle alors d'audio mosaicing. Ce principe est par exemple réalisé dans le système CataRT, qui permet l'affichage d'une projection 2D de l'espace des descripteurs, par une navigation simple avec la souris, par des contrôleurs externes ou par l'analyse d'un signal audio. CataRT, comme bibliothèque de modules pour Max ou comme application indépendante, est utilisé dans des contextes musicaux de composition, de performance et d'installation sonore variés. La bibliothèque MuBu de modules optimisés pour Max, permet également une grande variété d'applications de synthèse par corpus et d'audio mosaicing par similarité spectrale, associées à des entrées audio ou gestuelles.



Exemple de visualisation de synthèse concaténative.

SYSTÈME WFS ET AMBISONIQUE À L'ESPACE DE PROJECTION

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs
 Financement : programme Sesame (Conseil général d'Île-de-France), CNRS, Ircam, ANR, Sorbonne Université

La technique Wave Field Synthesis (WFS) désigne un procédé de reproduction holophonique qui permet, par analogie avec les hologrammes visuels, de capturer ou synthétiser une scène sonore en préservant les informations spatiales de distance et de direction des sources qui la composent.

Cette approche, initiée par l'université de Delft, dépasse les limites des systèmes conventionnels en termes de fidélité de reproduction sur une zone d'écoute étendue. Tandis que les techniques stéréophoniques conventionnelles (stéréo, 5.1) s'apparentent au trompe-l'œil et ne peuvent ainsi être appréciées que depuis le centre du dispositif, l'holophonie a l'ambition de reconstruire un champ sonore dans lequel les auditeurs peuvent se déplacer en gardant une perception cohérente de la localisation des sources.

L'Ircam a acquis une expérience dans ce mode de reproduction grâce à sa participation au projet européen Carrouso et en collaboration avec l'entreprise sonic emotion basée en Suisse. Ces études ont permis de mener différentes opérations de production en partenariat avec le Centre Pompidou pour les expositions Dada (2005) et Beckett (2007) ainsi qu'une installation interactive en juin 2006 (collaboration N+N Corsino).

Au cours des années 2008-2011, grâce au soutien de la région Île-de-France, du CNRS et de Sorbonne Université, l'Ircam a fait l'acquisition d'un système de diffusion WFS installé dans l'Espace de projection. Le système est composé, d'une part, d'une couronne horizontale de 264 haut-parleurs régulièrement répartis autour de la scène et du public pour la diffusion en WFS et d'autre part d'un dôme de 75 haut-parleurs pour une diffusion tridimensionnelle en mode Ambisonique. Cet équipement a pour double vocation de susciter l'exploration de nouvelles modalités de spatialisation pour la création musicale et de permettre la mise en œuvre d'expériences à caractère scientifique consacrées à la réalité virtuelle et la cognition spatiale. Un premier volet de cet équipement, inauguré en novembre 2008, a été exploité depuis dans le cadre de créations musicales (*Operspective Hölderlin* de P. Schoeller en juin 2009, *Le Père* de M. Jarrell en juin 2010, *Mimesis* de M. Garcia-Vitoria en octobre 2011) et de représentations théâtrales dans la Cour d'honneur du Palais des papes à Avignon (*La Tragédie du Roi Richard II*, mise en scène J.-B. Sastre, juillet 2010). L'équipement complet a été inauguré le 28 novembre 2012.

TECHNOLOGIES DE REPRODUCTION BINAURALE

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

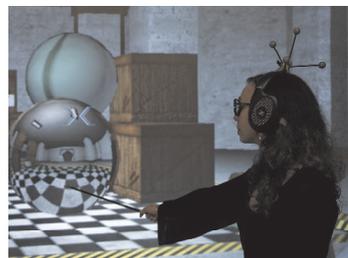
La restitution réaliste de sources ponctuelles sur casque d'écoute implique l'usage d'une spatialisation binaurale.

Celle-ci est basée sur le filtrage dynamique de la source sonore par les fonctions de transfert (Head-Related Transfer Function, HRTF) préalablement mesurées sur la tête d'un auditeur ou d'un mannequin.

Bien que son utilisation musicale soit encore limitée (excepté pour la réalité virtuelle ou les installations sonores interactives), la technologie binaurale représente un cadre de restitution d'une importance primordiale pour la situation de laboratoire. Associée à des dispositifs de suivi de position, c'est, à ce jour, la seule technique, assortie de moyens de suivi de position, qui permette de restituer sans artefact la complexité acoustique d'une scène sonore.

Cette technique reste notamment irremplaçable pour mener les travaux de validation perceptive.

À l'Ircam, elle est utilisée pour les études sur la cognition spatiale auditive incluant la navigation de l'auditeur ou des processus perception-action engendrés par un contrôle gestuel de la localisation de la source sonore.



Expérience de réalité virtuelle dans laquelle le contenu sonore de la scène, restitué sur casque avec la technique binaurale, est asservi à l'orientation de la tête et aux gestes du participant.
 © CNRS Photothèque / F. Vrignaud

TRAITEMENTS PAR VOCODEUR DE PHASE

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Le Vocodeur de phase, qui est l'une des techniques les plus performantes pour l'analyse et la transformation des sons, est la base du logiciel SuperVP. Il permet par exemple de transposer, d'étirer ou de raccourcir des sons, de les filtrer pratiquement sans limitation, etc. Pour la parole également, la qualité sonore des signaux transformés atteint un excellent niveau. De très nombreuses améliorations et extensions y ont été apportées. Citons par exemple :

- Le spectre réalloué (reassigned spectrum);
- L'estimation d'enveloppe spectrale par « true envelope »;
- La transposition avec préservation d'enveloppe spectrale;
- La transposition avec modèle « shape invariant »;
- La synthèse croisée généralisée qui permet de synthétiser des sons hybrides;
- Plusieurs méthodes d'estimation de la fréquence fondamentale (hauteur) du signal;
- La classification de la nature des pics spectraux, sinusoïdaux (ou voisés) ou non-sinusoïdaux (bruits ou non-voisés);
- La segmentation du plan temps-fréquence en régions transitoires et non transitoires et le renforcement ou atténuation des parties transitoires;
- Le traitement des zones temps-fréquence sinusoïdales, non-sinusoïdales et transitoires dans les traitements;
- Le modèle LF de source glottique permettant de transformer la voix, etc.

Ces différents modules d'analyse, de synthèse et de traitement sont utilisés dans plusieurs logiciels commerciaux.

MUSIQUE ET HACKING

Équipe concernée : Analyse des pratiques musicales

Période de réalisation : septembre 2016 – novembre 2017

Partenaires : Musée du Quai Branly – Jacques-Chirac

De manière générale, le hacking peut caractériser un ensemble d'activités à la fois optimisatrices (amélioration des performances d'un objet ou d'un dispositif technique, recherche de la meilleure solution à un problème donné), transgressives (contournement des normes légales ou technologiques, détournement des usages inscrits, posture irrévérencieuse envers les objets) et hédoniques (plaisir de la trouvaille, de la manipulation ingénieuse, de la prouesse technique, de la customisation). Dans cette perspective, on peut considérer le hacking comme une série de pratiques et d'usages configurés par les catégories conceptuelles de l'informatique - l'ordinateur comme objet technique « ouvert », modulable, adaptable aux besoins changeants de l'utilisateur; le code comme support de l'information; et le réseau comme structure de communication - pratiques et usages qui peuvent ensuite être remobilisés (et par là même remodelés) en dehors du contexte informatique. Le projet « Musique & Hacking » se propose donc de partir à la recherche des points de greffe entre culture hacker et musiques d'aujourd'hui, de manifestations les plus explicites (organisation périodique de Music Hack Days et autres Hackathon, piratage massif des productions de l'industrie musicale, etc.) aux transferts les plus implicites (émergence de nouvelles conceptions de l'instrument de musique, remise en cause de la fonction-auteur, dimension éthique de certaines musiques expérimentales, etc.), éclairant ainsi d'un jour neuf les pratiques musicales considérées.

Pour l'année 2016-2017, l'équipe s'investit sur l'analyse des activités de hacking instrumental au sein de l'atelier « Lutheries Urbaines » de Bagnolet, complétée par la réalisation d'un ensemble d'entretiens avec des acteurs importants de la scène des musiques improvisées qui en sont venus à constituer leur propre dispositif de jeu. En novembre 2017, le projet s'est clôturé avec le colloque « Musique et Hacking : instruments, communautés, éthiques », organisé conjointement par le musée du quai Branly et l'Ircam, et l'organisation d'un Music Hack Day à l'issue du colloque (les 10 et 11 novembre 2017 à l'Ircam) qui a donné un aperçu concret de la vivacité et de la fécondité des approches qui nourrissent le monde du hacking musical.

PROJET ORPHEUS

Object Based Broadcasting

orpheus-audio.eu

–

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

Financement : UE - H2020-ICT-2015

Période de financement : décembre 2015 - mai 2018

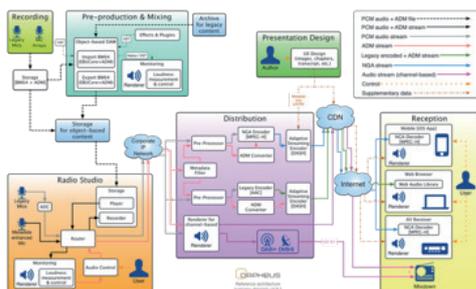
Partenaires extérieurs : Fhg IIS, BBC, Bayerischer Rundfunk, IRT, B-COM, Magix, Trinnov-Audio, ElephantCandy, Eurescom



Les media orientés « objets » constituent une approche prometteuse pour la création et le déploiement de contenus immersifs, interactifs et personnalisables. Ils consistent à représenter le contenu sous forme d'un ensemble de flux de signaux individuels (vidéo et/ou audio) associés à des métadonnées décrivant leurs relations temporelles et spatiales. Cette approche permet non seulement l'adaptation du contenu à différents dispositifs de restitution mais peut aussi enrichir considérablement l'expérience de l'utilisateur en offrant notamment différents degrés d'interactivité : réglage de l'équilibre entre objets de premier ou de second plan, navigation spatiale, décours non linéaire, adaptation au contexte d'écoute (diffusion publique, écoute domestique, écoute au casque en mobilité...).

Le projet ORPHEUS vise à développer et valider une chaîne de production audio complète, du studio à l'auditeur final, permettant de créer, transmettre et enfin recevoir ce type de contenu « objet » sur différentes plateformes (récepteur audio-vidéo, smartphone, navigateur web). Cette chaîne s'appuie sur le standard ADM (Audio Definition Model) recommandé et défini par différentes instances internationales (European Broadcast Union et International Telecommunication Union).

Au sein du partenariat de recherche, l'Ircam s'occupe plus spécifiquement des aspects liés à la caractérisation, la synthèse et la transmission des effets de réverbération. À cette fin, l'Ircam a développé une suite logicielle dédiée à l'enregistrement, la lecture et la restitution de contenus audio encodés en format ADM (cf. rubrique « logiciels » ADMix Tools, p. 64).



Architecture de traitement pour la création la diffusion et la réception de contenus audio en format « objet ».

PROJET ROUTE

Robot à l'écoute

–

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Financement : programme Convergence de Sorbonne Université

Appel à projets Emergence 2014

Période de réalisation : septembre 2015 - septembre 2016

Partenaires extérieurs : ISIR (Institut des systèmes intelligents et de robotique)

Le programme proposé par ROUTE se concentre sur une problématique commune à deux domaines de recherche a priori distincts :

- l'analyse automatique d'une scène sonore, à partir d'un processus d'apprentissage de dictionnaire. En traitement du signal audio, on retrouve cet aspect dans plusieurs applications d'intérêt majeur : computational auditory scene analysis (CASA), indexation automatique, séparation de source, détection et localisation d'objets sonores, parmi d'autres ;
- l'audition artificielle, domaine d'étude récent en robotique, pour lequel l'analyse d'une scène sonore devient petit à petit un prérequis nécessaire à toute application moderne (par exemple, pour la surveillance des personnes âgées, ou l'étude de l'interaction homme/robot).

L'objectif central du projet porte sur la conception et la mise en place d'une stratégie de détection et localisation de locuteur principal dans la scène sonore : une telle stratégie doit permettre à un robot d'identifier un signal vocal en présence de bruit, et localiser la position du locuteur principal (en cas de plusieurs locuteurs en simultanée).

Le problème traité est lié étroitement au domaine très actuel du computational auditory scene analysis (CASA).

En CASA, il s'agit de concevoir des systèmes automatiques avec une perception qui reproduit l'audition humaine, en considérant ses aspects physiques et psychoacoustiques. Ce projet se situe dans une perspective différente, bien que les outils de traitement audio considérés soient comparables (machine learning, séparation de source) : le côté audition est traité du point de vue du robot, et l'intérêt se concentre dans l'analyse de la scène audio en soi.

ECOUTE BINAURALE - PROJET BILI

bili-project.org

–

Equipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

Financement : FUI

Période de réalisation : janvier 2013 – juin 2016

Partenaires extérieurs : France Télévisions, Orange, Radio France, LIMSI-CNRS, Conservatoire de Paris, Arkamys, A-Volute, Trinnov-Audio

Les appareils personnels (smartphones, tablettes) concentrent de multiples fonctions et représentent le principal vecteur de diffusion de contenus musicaux. À mesure que l'audience dérive vers ces nouveaux équipements, l'écoute binaurale sur casque d'écoute gagne du terrain et symbolise la notion d'expérience personnelle en donnant accès en théorie à la reproduction de scènes tridimensionnelles. Cependant, la dépendance individuelle des fonctions de transfert d'oreille (RIFF) à la base de la technologie binaurale a jusqu'à présent limité sa diffusion grand public.

À l'occasion du projet BiLi, l'environnement de mesures des HRTFs dans la chambre anéchoïque de l'Ircam a fait l'objet d'une mise à jour matérielle et logicielle permettant d'augmenter considérablement la résolution spatiale par rapport aux bases de données disponibles. Le nouvel échantillonnage spatial (1680 directions) autorise une décomposition en harmoniques sphériques d'ordre élevé, utile pour diverses phases d'exploitation (interpolation spatiale, transcoding HOA / binaural).

Le partage des bases de données de HRTFs au sein de la communauté internationale a motivé la démarche de standardisation d'un format d'échange. Issu d'une collaboration internationale, le format SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics), approuvé par l'instance de standardisation de l'Audio Engineering Society, permet le stockage de données acoustiques spatiales telles que des HRTFs ou les SRIRs. L'Ircam a mis en place un serveur OPendAP (Open-source Project for Network Data Access Protocol) qui héberge différentes bases de données HRTFs au format SOFA et auquel des applications clientes (applications web, Matlab, etc.) peuvent adresser des requêtes de téléchargement (une RIFF spécifique, une tête complète, etc.).

Plusieurs méthodes d'individualisation des HRTFs ont été étudiées, notamment sous forme d'estimation des HRTFs ne requérant ni mesures acoustiques, ni mesures morphologiques. Ces méthodes exploitent les bases de données désormais disponibles pour guider l'utilisateur dans la sélection du jeu d'HRTFs le plus approprié. L'une des voies proposées s'appuie sur l'analyse en aveugle d'enregistrements binauraux effectués sur l'auditeur en conditions non contrôlées (milieu réverbérant, signaux quelconques, sources et auditeur en mouvement).

PROJET CAGIMA

Conception acoustique globale d'instruments de musique à anche, justes et homogènes

–

Équipes concernées : Systèmes et signaux sonores : audio/acoustique, instruments, Analyse et synthèse des sons

Financement : ANR, programme Blanc

Période de réalisation : décembre 2011 - novembre 2015

Collaborations : Laboratoire de mécanique et d'acoustique de Marseille, Laboratoire des sciences, des procédés et des matériaux de l'université Paris-13 et société Buffet-Crampon

Le projet Cagima s'est intéressé aux défauts de justesse et d'homogénéité d'émission et de timbre des instruments de musique à anche, tant du point de vue de celui qui les joue, que de celui qui les fabrique, et vise à intégrer au mieux les contraintes relatives à chacun d'eux.

Le projet ambitionnait de remplacer l'approche incrémentale historique adoptée par les facteurs par une approche rationnelle et globale visant à concevoir ab initio de nouveaux instruments, appelés « logiques », minimisant les défauts identifiés, ce qui constitue un réel saut méthodologique et technologique dans la facture instrumentale.

Il s'est agi pour cela d'évaluer d'abord les contraintes sur la production du son imposées par un instrument au musicien, via la mesure et l'interprétation du geste (pression dans la bouche, appui sur l'anche avec la lèvre, configuration du conduit vocal, etc.), et de les corrélérer à des défauts acoustiques des instruments afin de proposer des méthodologies novatrices de conception globale de la perce et des trous latéraux des instruments à anche.

Pour cela, l'étude de critères globaux était au centre du projet, et leur prise en compte a abouti, après un processus d'optimisation, à la fabrication de prototypes jouables d'instruments.

PROJET 3DTVS

Étude des techniques de description de contenus audiovisuels 3D

—



Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Financement : Commission européenne, programme ICT

Période de réalisation : novembre 2011 - janvier 2015

Partenaires extérieurs : université de Thessalonique,

Fraunhofer HHI, Flying Eye, Velti, Sky-Deutschland, Arte

Le projet 3DTVS est consacré à l'étude des techniques de description de contenu, d'indexation automatisée, de recherche et de navigation dans les contenus audiovisuels tridimensionnels disponibles sur les plateformes mobiles et non mobiles, avec notamment pour objectif d'améliorer la performance des analyses du fait du format tridimensionnel des signaux audio et vidéo analysés. Le projet vise également l'enrichissement des indexations audio/vidéo par la multi-modalité des approches. Le rôle de l'UMR STMS dans le projet porte sur les méthodes d'analyse de signaux audio spatialisés (flux audio multicanal), afin d'améliorer l'indexation et de fournir la localisation des sources dans l'espace 3D.

//////////////////// C2. LE CORPS MUSICIEN

PROJET ELEMENT

Stimuler l'apprentissage de mouvements dans les interactions humain-machine

–

Équipe concernée : Interaction, son, musique, mouvement

Financement : ANR, projet AAP

Période de réalisation : novembre 2018 – octobre 2021

Coordinateur : Ircam

Partenaires : LRI, LIMSI-CNRS

La plupart des interactions basées sur le mouvement proposent des interfaces « intuitives » et des vocabulaires gestuels triviaux. Bien que ceux-ci facilitent l'adoption, ils limitent néanmoins les possibilités d'interactions plus complexes, expressives et véritablement incarnées.

Nous proposons de passer des notions d'intuitivité à des notions d'"apprenabilité". Notre projet aborde à la fois des problèmes méthodologiques et de modélisation computationnelle.

Premièrement, nous devons élaborer des méthodes pour concevoir des vocabulaires de mouvements, lesquelles seraient faciles à apprendre et à composer afin de créer des phrases de mouvement riches et expressives. Deuxièmement, nous devons concevoir des modèles computationnels capables d'analyser les mouvements des utilisateurs en temps réel pour fournir divers mécanismes de feedback et de guidage multimodaux (par exemple visuels et auditifs).

Trois question de recherche fondamentale: 1) Comment concevoir des mouvements et des gestes, formés de composants faciles à apprendre, tout en permettant des techniques d'interactions complexes au-delà des simples commandes? 2) Comment rendre compte de l'apprentissage sensori-moteur avec des modélisations computationnel du mouvement et de l'interaction? 3) Comment optimiser des systèmes de feedback et guidages informatique afin de faciliter l'acquisition de compétences?

L'objectif à long terme est de favoriser l'innovation dans l'interaction multimodale, de la communication non verbale à l'interaction avec médias numériques dans des applications créatives.

PROJET THEVOICE

Design de voix pour l'industrie créative

–



Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Financement : ANR, programme Société de l'information et de la communication (DS07)

Période de réalisation : janvier 2018 – juin 2021

Partenaires extérieurs : LIA (Laboratoire d'informatique d'Avignon), Dubbing Brothers

Le projet theVoice s'attaque à la création de voix pour la production de contenu dans le secteur de l'industrie créative (films, séries, documentaires), secteur très important en termes de potentiel industriel mais extrêmement exigeant en termes de qualité. Le projet s'appuie sur un constat simple: la production de voix demeure exclusivement effectuée par des opérateurs humains dans un secteur quasi exclusivement numérique. Les objectifs scientifiques et technologiques du projet visent à modéliser la « palette vocale » d'un acteur pour permettre la recommandation de voix par similarité, et la création de voix artificielles capables de reproduire l'identité vocale d'un acteur. Le projet créera une rupture des usages par la réalisation et l'industrialisation de nouvelles technologies pour la création de contenus vocaux naturels et expressifs. Le consortium, porté par un acteur majeur du secteur de l'industrie de la création de contenus numérique et constitué de laboratoires de recherches reconnus, ambitionne de consolider une position d'excellence de la recherche et des technologies numériques made in France et la promotion de la culture française à travers le monde.

PROJET REFLETS

Rétroaction émotionnelle faciale et linguistique, et états de stress post-traumatique

Projet ANR « AAP GÉNÉRIQUE 2017 »

–

Équipe concernée : Perception et design sonores

Financement : ANR, programme blanc « Technologies pour la santé »

Période de réalisation : octobre 2017 – septembre 2021

Partenaires extérieurs: CentraleSupélec (Rennes, France – coordinateur), UMR 8257 Cognac-G (CNRS/Paris-Descartes/Service de Santé des Armées), Hôpital militaire Percy et Institut de recherche biomédicale des Armées (France), Dynamixyz (France), HumanEvo (France), Chanel (France)

Le projet REFLETS (Rétroaction émotionnelle faciale et linguistique et états de stress post-traumatique) vise l'amélioration de la prise en charge des personnes souffrant de syndrome de stress post-traumatique (PTSD) via un dispositif technologique agissant sur leur capacité à percevoir et réguler leurs propres émotions. Le projet est basé sur de récentes technologies développées à l'Ircam sur la manipulation temps réel des indices du sourire dans la voix parlée, et à CentraleSupélec sur la manipulation vidéo des indices visuels du sourire sur les visages.

Les efforts de REFLETS se concentrent dans trois domaines disciplinaires: du point de vue des sciences de l'information, le projet vise à développer une technologie de « miroir émotionnel » dans lequel un participant peut se voir et s'entendre parler, avec un ton émotionnel manipulé algorithmiquement (en pratique, se voir et s'entendre sourire alors que l'on s'exprime avec un ton neutre). Du point de vue de la psychologie et neurosciences cognitives, le projet vise à étudier les mécanismes de perception de soi et de métacognition impliqué dans ce paradigme de faux feedback, des travaux préliminaires ayant déjà établi que le fait de s'entendre parler avec un ton de voix plus joyeux a un effet positif sur les émotions du locuteur (Aucouturier et al., PNAS 2016). Enfin, du point de vue clinique, le projet vise à tester l'impact thérapeutique d'un tel dispositif dans la prise en charge des déficits de perception de soi et de régulation émotionnelle (alexithymie) dans les troubles post-traumatiques. Le projet menera ainsi un essai clinique sur une population de patients PTSD (après traumatisme crânien) recruté en collaboration avec l'hôpital militaire Percy.

PROJET ENTRECORPS

–

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

Financement : Sorbonne Université – programme Emergence

Période de réalisation : sept. 2017 – juin 2018

Les interactions humaines médiatisées sont étudiées depuis plusieurs années par les disciplines relevant des sciences de l'ingénieur et de la robotique, de part l'importance croissante que prennent les machines dans la communication entre les humains. Parallèlement, les neurosciences commencent à s'intéresser à l'inscription de l'homme dans sa société et réalisent qu'il est difficile d'établir les mécanismes neuronaux de la cognition sociale en étudiant des individus en isolation. Si l'on sait depuis longtemps que le contexte social module les réponses comportementales aux stimuli sensoriels, il n'en reste pas moins que prendre en compte celui-ci n'est pas une pratique courante de la démarche expérimentale adoptée en neurosciences comportementales chez l'homme. Avec l'introduction des nouvelles formes de communication, les interactions humaines sont médiatisées et sans doute transformées. Ce projet se propose de croiser les connaissances de plusieurs champs disciplinaires afin d'aboutir à l'étude des mécanismes de coordination interpersonnelle dans les interactions humaines médiatisées. Saisissant l'opportunité que représentent les nouvelles applications collaboratives, nous désirons les utiliser comme des outils expérimentaux pour apporter des connaissances aux neurosciences cognitives et sociales. Inversement, les résultats de nos expériences devraient pouvoir servir d'évaluation aux applications collaboratives, questionnant les mécanismes sensoriels qu'elles mettent en jeu, leurs retombées sociales et artistiques.

Un premier exemple d'étude est celui de l'espace péri-personnel, étudié cette fois non plus chez le sujet isolé mais en situation d'interaction. Il y a plus de 50 ans, l'anthropologue Edward Hall créait la notion de proxémie, définissant les différents compartiments de l'espace autour du corps et leur fonction sociale. Depuis peu, ces travaux ont été reliés aux recherches en neurophysiologie établissant les bases neuronales de l'espace peri-personnel (EPP). Cet EPP est codé au niveau cérébral comme une interface motrice et multisensorielle entre le corps et l'environnement. Plusieurs études mettent en évidence la plasticité des limites de cet espace virtuel entourant le corps du sujet, en fonction de la situation sociale et émotionnelle dans laquelle il se trouve.

Une étude a été développée pour investiguer l'impact de différents contextes sociaux sur la taille de l'espace péri-personnel, en particulier des contextes de collaboration ou de compétition entre individus. Ces études ont permis de confirmer la spécificité de la collaboration comme contexte social modulant la taille de l'espace péri-personnel.

PROJET MIM

Enhancing Motion Interaction through Music Performance

–

Équipe concernée : Interaction son musique mouvement

Financement : programme H2020 - Marie Skłodowska-Curie

Période de réalisation : janvier 2016 - décembre 2018

Partenaires extérieurs : université McGill, Montréal, Canada

Coordinateur : Ircam

Le projet MIM concerne les interactions homme-machine basées sur le mouvement, en mettant à profit une approche multidisciplinaire entre la psychologie expérimentale, l'informatique musicale et des méthodes de modélisation computationnelle. Dans un premier temps, le projet s'intéresse aux gestes experts, comme ceux des musiciens, afin d'étudier à la fois les mécanismes d'apprentissage sensori-moteur et de contrôle expressif dans le mouvement humain. Des modèles computationnels de ces mécanismes seront développés à partir de données expérimentales des mouvements d'interprètes. Dans un deuxième temps, les modèles développés seront appliqués dans le domaine des Instruments de musique numériques (DMI) afin d'élaborer des nouveaux types d'instrument prenant en compte explicitement les mécanismes d'apprentissage sensori-moteur. Par conséquent, le projet contribue à deux principaux domaines de recherche encore peu explorés. Premièrement, il contribue à la compréhension fondamentale des processus d'apprentissage sensori-moteur en considérant des mouvements humains complexes tels que les mouvements des musiciens. Deuxièmement, il propose le développement et l'évaluation de systèmes interactifs musicaux originaux en s'appuyant sur des modèles computationnels de gestes musicaux expressifs.

PROJET CREAM

Cracking the Emotional Code of Music

–

Équipe concernée : Perception et design sonores

Financement : programme ERC Starting Grant 335536

Période de réalisation : octobre 2014 – septembre 2019

Partenaires extérieurs : Centre de recherche de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (CRICM UMR7225).

Le projet CREAM se donne pour objectif de produire les technologies et les connaissances permettant de caractériser précisément quel type de signal musical est capable de déclencher quel type de mécanisme cérébral d'induction émotionnelle.

La recherche en cognition musicale jusqu'à présent repose principalement sur des corrélations effectuées entre des réactions émotionnelles relativement indistinctes et des stimuli musicaux peu contrôlés : on sait que la musique peut créer des émotions, mais on ne sait pas comment. Le projet CREAM propose de combiner les méthodes actuelles de neurosciences avec un très haut niveau de technicité de traitement du signal, pour fabriquer, pour la première fois, des stimuli musicaux capable d'activer ou d'inhiber sélectivement certains des circuits corticaux impliqués dans le traitement émotionnel, afin de les étudier en isolation. Par ex, nous proposons de cibler les centres d'interprétation de la prosodie de la parole en construisant des sons musicaux qui « tremblent » comme une voix anxieuse ou « exultent » comme une voix joyeuse.

Ces nouvelles techniques de contrôle expérimental permettront d'étendre notre compréhension actuelle des mécanismes cérébraux d'induction émotionnelle, mais aussi de concevoir de nombreuses applications cliniques de thérapie ou de diagnostic dans le cadre de la dépression ou des maladies neuro-dégénératives. En d'autres termes, le projet CREAM fera de la musique une véritable technologie clinique capable de mobiliser des circuits neuronaux de façon ciblée, non-intrusive et non-pharmacologique.



Mesures EEG dans les cabines audiométriques de l'Ircam pour un test auditif.

ANALYSE ET RECONNAISSANCE DU GESTE

Services concernés : équipe Interaction son musique mouvement, département Création et Production

Ce projet de recherche répond à un intérêt accru pour les systèmes musicaux interactifs basés sur un contrôle gestuel. Les applications concernent non seulement la musique mais le spectacle vivant dans son ensemble, tels la danse ou le théâtre. Il s'agit de recherches à caractère fortement interdisciplinaire intégrant les sciences de l'ingénieur, la physiologie et la biomécanique, les sciences cognitives et les domaines artistiques. Ces travaux s'effectuent en synergie avec nos développements sur les interfaces gestuelles.

Un premier axe de recherche est dédié à l'étude du geste instrumental et de sa relation à la fois avec l'écriture musicale et les caractéristiques du signal sonore. Diverses méthodes de captations du geste sont utilisées, de la captation optique 3D à des capteurs embarqués sans fil (accéléromètres, gyroscope). L'ensemble de ces méthodes nous permet de mesurer et de modéliser les gestes d'instrumentistes, comme dans le cas des cordes ou du piano. Diverses problématiques sont abordées comme le contrôle moteur et l'apprentissage dans le cas d'un geste expert, la caractérisation de modes de jeu en considérant à la fois les paramètres sonores et gestuels, ainsi que la modélisation de phénomènes de coarticulation gestuelle similaires à ceux de la parole.

Un deuxième axe concerne le développement de systèmes d'analyse et de reconnaissance du geste.

Nous favorisons des approches générales permettant d'appliquer nos résultats aussi bien à la musique qu'à la danse ou qu'aux installations interactives. De tels systèmes peuvent être, par exemple, intégrés dans le contexte d'un spectacle vivant pour la synchronisation et l'interaction entre le mouvement des interprètes et divers processus sonores ou visuels. La reconnaissance est basée sur diverses caractéristiques temporelles du mouvement, captées soit par vidéo soit par un ensemble de capteurs embarqués sur le corps.

Les outils issus de ces recherches, comme le « suivi de geste », permettent de reconnaître et caractériser précisément divers éléments gestuels de haut niveau définis par les artistes eux-mêmes.



Captation et analyse du geste. (© photo Hillary Goidell).

PROJET ANIMAGLOTTE

Système artificiel d'animation de larynx ex vivo

Équipe concernée : Systèmes et signaux sonores : audio/acoustique, instruments

Période de réalisation : 2018-2019

Collaborations : LPL-CNRS (coordinateur), LMA-CNRS, CHU La Conception-Marseille, CHU-Liège

La voix humaine peut présenter des caractéristiques acoustiques très variables selon qu'il s'agisse d'une voix chuchotée, chantée, parlée ou pathologique. Pour produire ces différents types de voix, l'être humain agit principalement sur la longueur de ses plis vocaux et sur leur degré de contact (délimitant la glotte).

Notre projet vise à développer un système mécanisé d'animation ex vivo pour des larynx humains excisés post-mortem. Après avoir mesuré in vivo la dynamique (amplitude et vitesse) des mouvements de la glotte nous souhaitons les reproduire via un contrôle mécanique artificiel.

COGNITION SPATIALE AUDITIVE

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

Dans le domaine de la reproduction sonore ou de la communication, les technologies audio futures tenteront de privilégier les sensations d'immersion et de présence. Ces notions sont intimement liées aux dimensions spatiales d'une scène multimédia et en particulier sonore, et sont notamment renforcées dans les situations impliquant une action de la part de l'auditeur, soit à travers sa navigation dans la scène, soit à travers une interaction gestuelle avec les objets qui la composent.

Dans ces conditions, rendues possibles par les technologies holophoniques ou binaurales, la congruence et le rafraîchissement en temps réel des indices auditifs spatiaux en fonction des mouvements ou actions de l'auditeur ont un impact majeur sur la sensation de présence. Ce nouveau contexte a motivé le lancement d'une série d'expériences consacrées à la cognition spatiale auditive, notamment à travers l'étude de processus d'intégration multisensorielle. L'accent est mis sur l'interaction entre les modalités auditives et idiothétiques (indices induits par le mouvement du sujet et incluant l'équilibre et la proprioception). La méthodologie expérimentale fait appel à des expériences comportementales liées à l'observation des performances de localisation ou de navigation des sujets soumis à différents contextes exploratoires.

Dans cet axe de recherche, on s'intéresse également aux rapports entre intégration multisensorielle et dimension émotionnelle. Il peut s'agir par exemple d'étudier les effets de conflits spatiaux entre le son et la vision sur la réaction émotionnelle de sujets (cf. intégration multisensorielle et émotion, ci-contre), ou encore d'évaluer la perception de la numérosité (e.g. quantification d'une foule) en fonction de la modalité sensorielle et ses liens avec l'émotion.

INTÉGRATION MULTISENSORIELLE ET EMOTION

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

Au cours des vingt dernières années, de nouveaux types de thérapie par exposition ayant recours aux technologies de réalité virtuelle se sont développés pour le traitement et la réhabilitation des troubles émotionnels, et notamment des phobies. La réalité virtuelle (RV) offre un contrôle très riche de la présentation sensorielle et spatiale des stimulations ce qui permet de mieux contrôler l'impact émotionnel des situations anxiogènes auxquelles le patient est exposé. Cependant, afin d'exploiter ces avantages uniques de la RV, il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur les liens entre les caractéristiques de présentation des stimuli et leur effet émotionnel.

Nous avons exploré ces liens dans le cadre de foules virtuelles. La peur de la foule est un symptôme retrouvé dans plusieurs troubles émotionnels (agoraphobie, phobie sociale, peur de tomber...) et présente des composantes à la fois sensorielles (auditives et visuelles) et spatiales, ce qui fait de la foule un stimulus idéal pour nos études.

Une étude a été menée sur deux groupes de participants (sensibles ou non à la peur de la foule), immergés dans un environnement visuo-auditif contenant des foules virtuelles, et qui devaient indiquer l'intensité de leur inconfort. La présentation sensorielle des foules était soit visuelle, soit auditive, soit visuelle et auditive. Les résultats indiquent que la présentation visuo-auditive amplifie le ressenti négatif chez les participants sensibles à la peur de la foule. Cependant, cet effet n'est observé que lorsque la foule est proche du participant. Ce résultat révèle l'interaction des caractéristiques spatiale et sensorielle du stimulus anxiogène sur l'impact émotionnel.

Cette dépendance spatiale a motivé l'initiation d'un volet de recherches consacrées à l'étude de l'espace péri-personnel. L'homme ne perçoit pas l'espace de manière homogène: le cerveau code l'espace proche du corps différemment de l'espace lointain. L'espace péri-personnel (proche du corps), est codé par des neurones multisensoriels. Nous cherchons à mettre en évidence la plasticité des limites de cet espace en fonction de la nature du son et du contexte émotionnel ou social.



Dispositif de RV dans le studio 4 de l'Ircam. La stéréo visuelle est projetée sur un grand écran. La mise à jour des informations visuelles et auditives est réalisée grâce à un système de suivi de position.

PROJET ONDES MARTENOT

—
 Équipe concernée : Systèmes et signaux sonores :
 audio/acoustique, instruments
 Financement : Collegium Musicæ
 Période de réalisation : janvier - décembre 2018
 Partenaire : ECR-Musée de la musique

Ce projet a un double objectif, muséal et scientifique. L'objectif muséal concerne la génération automatique (i) de documentation sur les instruments et (ii) de code de simulation pour «l'écoute non invasive», importante pour la préservation sous des formes virtuelles jouables. Il concerne également le clonage de composants électroniques à technologie ancienne sous forme de composants analogiques programmables insérables dans des circuits, point important pour la préservation d'instruments sous forme non virtuelle.

L'objectif scientifique porte sur les modèles physiques de composants électroniques non linéaires anciens, simulation temps réel à passivité garantie de circuits électroniques avec génération automatique de documentation et de code de simulation (travaux fondés sur les Systèmes Hamiltoniens à Port, formalisme très productif pour les systèmes multi-physiques). Il porte également sur la conception de composants électroniques analogiques programmables et la mise au point d'une méthodologie générale applicable aux ondes Martenot et d'autres grandes familles de circuits analogiques audios.

PAPIER AUGMENTÉ POUR LA CAO

—
 Équipes concernées : Représentations musicales,
 Analyse des pratiques musicales.
 Collaborations : LRI Orsay, Inria

Grâce aux technologies de papier augmenté contenant un motif invisible mais détectable par une petite caméra introduite dans un stylo, l'ordinateur peut détecter ce qu'écrit le compositeur. Ce lien « amont » entre le papier et l'ordinateur est complété par un lien « aval » de l'ordinateur vers le papier grâce à l'impression sur papier augmenté, créant un cycle de production inédit.

Le but de ce projet, dont le prolongement fait l'objet d'une demande ANR, est d'identifier, en collaboration avec des artistes et des chercheurs, les applications musicales possibles issues de l'articulation entre le support informatique et le papier augmenté. Plutôt que de remplacer le papier, dont les propriétés de flexibilité, de confort et d'associativité libres sont reconnues, notre approche consiste à développer des applications qui combinent les avantages des documents papier et des documents électroniques.

À long terme, nous envisageons de développer dans ce projet des prototypes d'applications sur trois différents axes :

- La notation
 Dans le domaine de la composition musicale, on s'intéressera à la fois aux aspects de notation et d'annotation, l'un et l'autre étant en réalité complémentaires de par la nature réflexive de la création musicale.
- L'écriture de la synthèse
 De par sa souplesse d'utilisation et la finesse de l'interaction manuscrite comparée à la souris ou même à une tablette graphique, le papier reste le support privilégié pour l'expression informelle d'idées artistiques gestuelles et en particulier pour l'écriture de la synthèse. En collaboration avec le logiciel OpenMusic, cette technologie permettra une réalisation naturelle de l'évolution dans le temps des divers paramètres de synthèse.
- L'enseignement
 La technologie de papier augmenté intéresse particulièrement les musicologues et enseignants de musique. Elle permet de travailler de façon collaborative sur un support simple, la partition imprimée, mise en relation avec le logiciel Musique Lab 2 afin de produire de nouvelles formes d'interaction.

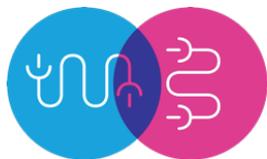
© Inria / Photo H. Raquet



Interface utilisée pour la création en juin 2014 de *Quid sit musicus?* de Philippe Leroux, associant des processus musicaux électroniques à l'écriture calligraphique de la partition de Guillaume de Machaut.

PROJET MUSICBRICKS

Outils et modules musicaux pour les designers numériques et les créateurs de contenus



—
Équipe concernée : Interaction son musique mouvement

Financement : programme H2020- ICT18-2014-a

Période de réalisation : janvier 2015 – juin 2016

Partenaires extérieurs : Sigma-Orionis (coordinateur), Stromatolite Innovation Lab, Universitat Pompeu Fabra, Fraunhofer Institute IDMT, Technische Universität Wien

L'objectif du projet européen MusicBricks est de faciliter le transfert de nouvelles technologies musicales issues de certains des principaux centres de recherche européens du domaine vers des PME focalisées sur la création numérique. Le projet passe par la constitution d'interfaces de programmation, d'interfaces graphiques et tangibles, du développement d'un écosystème à partir des événements MusicTech Fest et d'incubateurs des technologies sélectionnées en vue de les préparer à un accès au marché. Dans ce projet, l'UMR STMS est principalement en charge du déploiement de technologies liées aux interfaces tangibles et graphiques (TUI et GUI). Il s'agira en particulier de développer des modules d'analyse de données gestuelles et de mapping entre mouvements et sons.

Nous développons également des dispositifs de captation complémentaires, compatibles avec l'utilisation scénique ou des contextes pédagogiques.

L'ensemble de ces méthodes nous permet de mesurer et de modéliser les gestes d'instrumentistes. Diverses problématiques sont abordées comme le contrôle moteur et l'apprentissage dans le cas d'un geste expert, la caractérisation de modes de jeu en considérant à la fois les paramètres sonores et gestuels, ainsi que la modélisation de phénomènes de coarticulation gestuelle similaires à ceux de la parole.

Un deuxième axe concerne le développement de systèmes d'analyse et de reconnaissance du geste.

PROJET CHANTER

Système de synthèse du chant

—

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Financement : ANR, programme Contenus et interactions

Période de réalisation : janvier 2014 - juin 2017

Partenaires extérieurs : LIMSI (coordinateur), Acapela, Dualo

Le but du projet est de réaliser un système de synthèse de chant de haute qualité, qui puisse être utilisé par le grand public musicien. Le système doit non seulement chanter sur des voyelles, mais aussi prononcer les paroles d'une chanson. Un tel système n'existe pas pour la langue française. Le synthétiseur prévu fonctionnera sur deux modes : le mode « chant à partir du texte » dans lequel l'utilisateur doit saisir le texte à chanter et les notes de la partition (durées et hauteurs) que la machine transforme en son et le mode « chanteur virtuel » dans lequel l'utilisateur utilise des interfaces de contrôle temps réel pour contrôler le synthétiseur de chant comme un instrument.

Pour réaliser ces outils, nous proposons une combinaison de technologies avancées de transformation de voix, avec le savoir faire sur la sélection des unités et les systèmes de règles du chant, et des interfaces de contrôle gestuel innovantes. Le projet porte une attention particulière à capturer et reproduire la variété des styles vocaux (lyrique/classique, populaire/chanson). Outre les tests de qualité utilisés d'ordinaire pour la synthèse vocale, l'utilisabilité des systèmes sera testée et démontrée en prêtant une attention dès le départ aux aspects de création qu'ils permettent (évaluation sous forme de mini-concerts et mini-projets compositionnels utilisant les nouveaux gestes de contrôle, un chœur virtuel et/ou un soliste virtuel). Le prototype de synthèse de chant qui sera développé dans le projet sera utilisé par les partenaires pour proposer des produits de synthèse de voix chantée et d'instrument chanteur qui font actuellement défaut ou améliorer les fonctionnalités de produits existants. Ainsi, le projet permettra d'offrir à des musiciens interprètes, à des compositeurs et à un large public une approche artistique nouvelle du chant de synthèse, de nouveaux moyens de création permettant des expériences interactives utilisant la voix chantée.

PROJET SKAT-VG

Sketching Audio Technologies using Vocalizations and Gestures

—



Équipes concernées : Perception et design sonores, Interaction son musique mouvement, Analyse et synthèse des sons

Période de réalisation : janvier 2014 - janvier 2017

Financement : programme Objective ICT-2011-C, FET-Open :

Challenging current thinking FP7, Commission européenne

Partenaires : IUAV (Universita Iuav di Venezia, coordinateur), KTH (Kungliga Tekniska Högskolan), GENESIS (Genesis Acoustics)

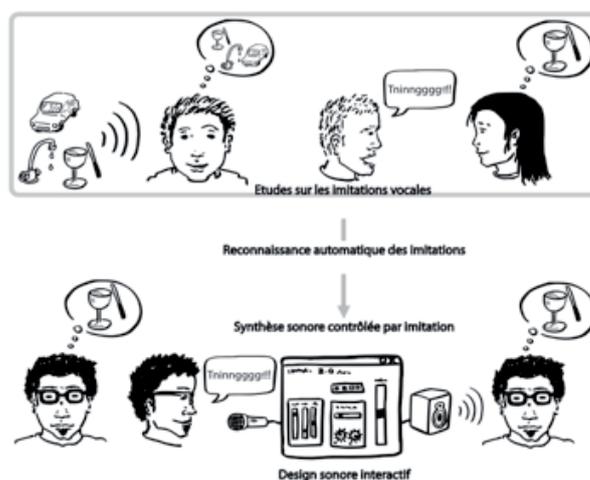
L'esquisse est une étape fondamentale des activités de design. Dans le design visuel, le système « papier + crayon » est toujours le principal outil utilisé pour produire, en peu de temps, une grande variété de concepts et d'idées. Cela étant, dans le design produit et le design media, le comportement sonore des objets considérés revêt un caractère essentiel, dans la mesure où le son peut véhiculer des propriétés d'esthétique et d'homogénéité dans un contexte d'usage interactif. La question qui se pose est alors de savoir comment esquisser la dimension sonore d'un objet, dans les phases préliminaires de sa conception. Les sons non verbaux - mieux que la parole - sont naturellement et spontanément utilisés dans la vie de tous les jours pour décrire et imiter des événements sonores; ils sont, en outre, souvent associés à des gestes manuels expressifs afin de les qualifier, de les compléter ou bien de les mettre en valeur. Le projet SkAT-VG a pour but de permettre aux designers d'utiliser directement leur voix et leurs mains pour esquisser les caractéristiques sonores d'un objet, facilitant ainsi l'exploitation des possibilités fonctionnelles et esthétiques du son. Le cœur de ce système réside dans un dispositif capable d'interpréter les intentions des utilisateurs exprimées au moyen d'imitations vocales et de gestes, de sélectionner des modules de synthèses sonores appropriés, et de rendre ainsi possible le partage et le raffinement des idées de manière itérative.

Pour atteindre ces objectifs, le projet SkAT-VG s'est appuyé sur un consortium pluridisciplinaire de partenaires possédant des expertises complémentaires : analyse des mécanismes articulatoires de la voix, perception et cognition sonores, apprentissage automatique, design interactif, et développement d'applications audio. Les principales tâches du projet ont compris des études de cas pour comprendre comment les imitations vocales et les gestes sont naturellement utilisés dans la communication sur le son, l'analyse de pratiques expertes auprès de designers sonores professionnels, des

études expérimentales et fondamentales portant sur l'identification des sons via la production d'imitations vocales ou de gestes, l'analyse des gestes, l'apprentissage automatique et le développement d'outils d'esquisses sonores.

Le projet vise plusieurs objectifs scientifiques :

- étendre les connaissances existantes dans le domaine de la perception et la production d'imitations vocales et de gestes expressifs;
- développer des algorithmes de classification automatique d'imitations vocales et gestuelles, fondés sur l'imitation elle-même, en combinant l'analyse du signal sonore avec des mécanismes physiologiques de la production vocale;
- explorer l'efficacité des esquisses sonores et gestuelles dans le domaine du design sonore interactif, en exploitant la classification automatique à des fins de sélection et paramétrisation de modèles de synthèse sonore;
- développer des applications de création et de traitement sonores intuitives, utilisant la voix et les gestes.

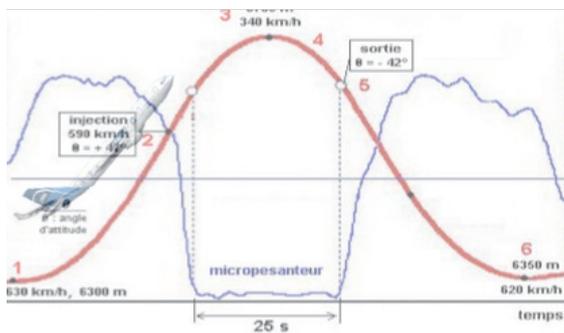


Esquisse de synopsis du projet SKAT-VG (© O. Houix).

PROJET AUDIOSELF

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs
 Financement : CNES
 Période de réalisation : 2013-2015
 Partenaires extérieurs : CNES, Novespace

Notre perception repose sur le sentiment que notre « moi » (self) est localisé là où est notre corps, autrement dit sur le sentiment d’incarnation (embodiment) - le fait d’habiter ce corps, d’être localisé dans les limites physiques de ce corps. Cette sensation n’est pas gouvernée par un organe sensoriel isolé mais dépend au contraire de l’intégration des afférences multisensorielles. Nous étudions cette sensation en nous intéressant à la contribution des interactions auditives et vestibulaires pour la perception du corps propre, et en profitant des conditions d’apesanteur provoquées lors de vols paraboliques. En situation d’apesanteur, les indices vestibulaires sont naturellement perturbés, ce qui peut altérer la sensation d’unité entre le sentiment de soi et son propre corps et en d’autres termes modifier la perception de son corps comme référence spatiale.



Protocole expérimental en situation de micro-gravité. [En haut] : évolution de la gravité (courbe bleue) pendant la trajectoire de l'avion (en rouge). [À gauche] : le participant est équipé d'un casque audio et du boîtier réponse lui permettant d'indiquer la provenance spatiale des stimuli binauraux diffusés. Les sangles permettent au sujet de flotter sans toutefois le laisser dériver dans l'habitacle.

PROJET VERVE

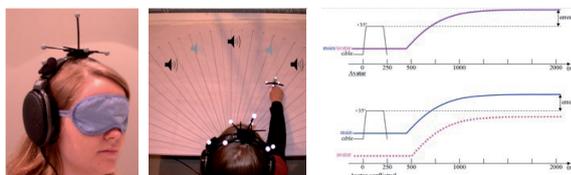


Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs
 Financement : programme FP7 IST call 7 ICT-2011.5.5 ICT For Smart and Personalized Inclusion, Commission européenne.
 Période de réalisation : octobre 2011 - septembre 2014
 Partenaires extérieurs : Trinity College Dublin (Irlande, coordinateur), Centre hospitalier universitaire de Nice, Inria Sophia Antipolis, CNRS Telecom ParisTech (France), Testaluna (Italie), Kainos (Royaume-Uni), université de Zaragoza (Espagne) et Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (Allemagne)

Le projet vise l'amélioration de la qualité de vie de personnes à risque d'exclusion sociale due à la peur et l'apathie associées au vieillissement et aux troubles neurologiques. Le consortium travaille sur la spécification, le développement et le test d'environnements virtuels personnalisés et peuplés d'humanoïdes, qui peuvent être utilisés sur différents types de plateformes, allant de la salle immersive (CAVE) au téléphone intelligent.

Les efforts de VERVE se concentrent sur trois situations, chacune ciblant un groupe différent de symptômes : la peur de tomber et la maladie de Parkinson, l'apathie et les troubles comportementaux reliée au déclin cognitif, en particulier dus à la maladie d'Alzheimer, et d'autres troubles émotionnels liés à l'anxiété. Bien que focalisés sur ces domaines au départ du projet, les résultats de la recherche devraient être applicables à un éventail beaucoup plus large de situations.

Le son 3D est utilisé dans les situations immersives, de sorte à étudier les liens entre l'intégration visuo-auditive et l'émotion. La compréhension de l'impact affectif du rendu visuel et auditif d'un environnement virtuel, au niveau de la perception émotionnelle et au niveau du ressenti affectif, doit permettre la mise en place de nouvelles stratégies thérapeutiques pour les troubles liés à l'anxiété.



Tâche de pointage en l'absence de vision vers des sources sonores virtuelles, en présence d'un retour sonore de la position de la main, aligné ou en conflit avec le mouvement. Les informations sonores sont rendues en binaural et spatialisées en temps réel en fonction de la position de la tête et de la main du sujet.

PROJET LEGOS

Apprentissage sensori-moteur dans les systèmes interactifs sonores basés sur le geste

legos project

Sensori-motor learning in gesture-sound interactive systems

—

Équipes concernées : Interaction son musique mouvement, Perception et design sonores, Acoustique instrumentale, Espaces acoustiques et cognitifs

Financement : ANR, programme Blanc

Période de réalisation : novembre 2010 - mars 2015

Partenaires extérieurs : Laboratoire de neurophysique et physiologie (UMR 8119), université Paris-Descartes

L'idée centrale du projet Legos est de croiser des expertises avancées sur les technologies de contrôle sonore par le geste avec des problématiques liées aux neurosciences et aux sciences cognitives de l'audition, concernant en particulier les apprentissages sensori-moteurs. Nous pensons en effet que ces aspects sont insuffisamment intégrés aux développements des systèmes sonores interactifs. Une meilleure compréhension des mécanismes d'apprentissage du couplage geste/son pour la réalisation d'une action est nécessaire pour proposer des méthodologies efficaces pour leur évaluation et optimisation. Cela permettra de dépasser de manière significative les limites auxquelles sont confrontés les systèmes sonores interactifs actuels basés sur le geste, souvent développés de manière empirique.

L'objectif du projet Legos est d'étudier de manière systématique l'évaluation de la qualité du couplage geste-son dans des systèmes sonores basés sur une interface gestuelle.

Pour cela, nous évaluerons l'apprentissage sensori-moteur et en particulier son évolution dans le temps dans divers dispositifs interactifs.

Il s'agit donc à la fois de développer, d'évaluer et comparer des systèmes interactifs afin de proposer à moyen terme des nouvelles interfaces gestuelles de contrôle de médias numériques (dont les jeux vidéos et le design sonore) ainsi que des applications médicales comme la rééducation.

Le projet permettra d'apporter un nouvel éclairage sur la perception des sons dans un processus actif engageant une action de l'auditeur.

Le projet s'appuie sur des méthodes expérimentales, considérant les trois éclairages suivants :

- **Contrôle sonore**
Ce premier point correspond à un cas d'apprentissage sensori-moteur où la finalité est de produire un son donné grâce à la manipulation d'une interface gestuelle, comme dans le cas des instruments de musique numérique. L'apprentissage sensorimoteur est évalué au niveau de la qualité du son produit.
- **Apprentissage de geste avec retour sonore**
Ce deuxième point correspond à l'apprentissage sensori-moteur dans le cas où la finalité est d'effectuer un geste donné en s'aidant d'un retour sonore. L'apprentissage sensori-moteur est dans ce cas observé au niveau de la qualité/performance du geste reproduit.
- **Design sonore interactif**
Ce troisième point correspond à l'apprentissage sensori-moteur dans le cas d'interfaces tangibles, où la finalité est la manipulation correcte d'un objet. Dans ce dernier cas, l'apprentissage sensori-moteur est jugé à travers la manipulation de l'objet interactif pour répondre à un usage donné.

////// C3. LES DYNAMIQUES CRÉATIVES

PROJET RASPUTIN

Simulation de l'acoustique architecturale pour une meilleure compréhension spatiale en utilisant navigation immersive temps réel

–

Équipe concernée : EAC

Financement : ANR, programme AAP 2018

Période de réalisation : novembre 2018 – avril 2022

Partenaires : Institut Jean Le Rond d'Alembert (coordinateur),

Sorbonne Université, IJLRA-CNRS, Centre de Psychiatrie et

Neurosciences (CPN UMR 894 INSERM-université Paris Descartes),

Novelab, StreetLab

RASPUTIN est un projet de recherche fondamentale collaboratif (PRCE) à l'intersection des « Sciences et Technologies du Numérique » et de la « Psychologie », visant à réduire la complexité cognitive de la navigation pour les non-voyants dans un nouvel environnement intérieur, et ce, grâce à des simulations numériques et des explorations en réalité virtuelle en audio 3D. Ces explorations seront autant d'exercices qui permettront d'élaborer mentalement des cartes cognitives de ces environnements encore jamais physiquement explorés. L'objectif est de promouvoir l'accès à l'information par tous et depuis n'importe où.

Le projet RASPUTIN vise à l'optimisation de l'interaction homme-machine grâce au développement d'environnements virtuels auditifs qui améliorent l'entraînement et l'apprentissage de configurations spatiales des personnes en situation de handicap, ainsi que l'accès et la compréhension de l'architecture spatiale de lieux publics.

PROJET MICA

Improvisation musicale et action collective

–

Équipes concernées : Analyse des pratiques musicales, Perception et design sonores, Interaction son musique mouvement

Financement : ANR, programme JCJC

Période de réalisation : mars 2018 – février 2021

Partenaires extérieurs : Sorbonne Université, EHESS

Coordinateur : Ircam

L'objectif du projet MICA (ANR JCJC 2018-2021) est de comprendre comment nous faisons pour agir *ensemble* de manière à la fois créative et spontanée, en abordant cette question à partir d'une analyse détaillée de la pratique musicale de l'improvisation « libre ». Plus précisément, il s'agit de comprendre :

1. Comment les agents négocient entre l'exigence de coordination - propre aux situations d'action collective - et l'exigence d'innovation - propre aux contextes créatifs ;
2. Comment la forme de la coordination elle-même peut servir de support à la communication entre les agents dans le déroulement de l'action collective ;
3. Comment s'articulent, dans le temps de l'action, les phénomènes de coordination de bas niveau (essentiellement moteurs) et les phénomènes de cognition sociale de plus haut niveau (attributions d'intentions aux autres agents, etc.) qui semblent nécessaires au déploiement d'une action collective un tant soit peu complexe.

Dans un premier temps, l'équipe du projet MICA collectera des descriptions denses et précises d'actions collectivement improvisées et des processus de coordination à l'œuvre dans ce type d'action à la fois complexe et spontanée à travers plusieurs enquêtes ethnographiques longitudinales auprès de différents collectifs d'improvisateurs ainsi que de la Classe d'Improvisation Générative du Conservatoire de Paris. L'étude croisée de ces différents terrains permettra d'observer comment le mode opératoire de la création collective se modifie lorsque les conditions de la coordination entre les musiciens varient.

Ce travail ethnographique fournira les bases qui nous permettront de renouveler en profondeur les questions expérimentales traditionnellement posées au sujet de l'action conjointe, en abordant la question de la coordination émergente autrement que par le paradigme de la synchronisation. Il s'agira donc dans un deuxième temps de mettre en place une série de protocoles expérimentaux, inscrits dans la psychologie expérimentale et la cognition sociale, qui auront pour objectif de mettre en lumière certains aspects fondamentaux de l'interaction dyadique improvisée. On envisage ainsi des protocoles permettant d'aborder cette question sur trois échelles de temps différentes : l'étude des stratégies déployées par les agents pour coordonner quasi instantanément leurs actions respectives avec le maximum de fluidité ; l'analyse de la manière dont les indices de coordination et les ressources de l'interaction sont intégrés continuellement dans le temps de la performance pour permettre la communication d'intentions complexes ; la mise en évidence des marqueurs de cognition d'équipe qui se sédimentent sur le temps long de la collaboration.

Enfin, il s'agira de confronter les résultats des enquêtes et des expériences aux différentes théories philosophiques de l'action conjointe. Ce travail d'élaboration théorique débouchera soit sur la proposition de révisions ou d'amendements pour les théories déjà existantes qui se prêtent le mieux à penser le cas de l'improvisation collective, soit, le cas échéant, sur une nouvelle théorie de l'action collective construite à partir des données empiriques obtenues au sein du projet MICA, visant à pleinement rendre compte de la dimension improvisée de l'agir collectif.

PROJET EMODEMOS

**Interactions Musicales, Empathie et Développement.
L'apprentissage musical dans le projet Démos au prisme des sciences cognitives.**

–
Équipe concernée : Interaction son musique mouvement
Financement : Philharmonie
Période de réalisation : janvier 2018 – juin 2019
Partenaires : Centre Interfacultaire des Sciences Affectives - Université de Genève (coordinateur), Université de Gênes, Philharmonie de Paris

L'objectif principal du projet EmoDemos est de comprendre et faire comprendre comment la pratique orchestrale telle que proposée par DEMOS : a) renforce les habilités techniques - instrumentales et sensorimotrices acquises en cours individuels, b) développe chez l'enfant l'ensemble des fonctions exécutives essentielles pour réguler le comportement et comment, enfin, c) cette pratique collective favorise l'émergence de compétences dites « non-techniques » (*soft skills*), cognitives et émotionnelles centrales pour établir une relation et s'inscrire dans un groupe. Une attention majeure sera portée au phénomène des émotions et en particulier de l'empathie et des comportements altruistes (ex : aller vers l'autre, l'écouter, l'aider). Les méthodes mises en place dans cette étude cherchent à caractériser ce développement cognitif et émotionnel durant les années de la formation DEMOS et après avoir suivi cette formation.

PROJET ALCOLL

–
Équipe concernée : Analyse des pratiques musicales
Financement : Sorbonne Université, programme Emergences
Période de réalisation : septembre 2017 – juillet 2018
Collaborations : IReMus

Le projet « Analyser le collectif dans les processus de création musicale » [ALCOLL] vise à rendre compte de processus créateurs en musique par-delà l'opposition supposée entre individuel et collectif (et, par là même, entre musicologie et sciences humaines et sociales). Qu'est-ce qui, dans un travail musical donné, tient du particulier et qu'est-ce qui tient du général ? Qu'est-ce qui relève en propre de la participation de tel ou telle à l'action créative ? C'est ce dont le projet ALCOLL se propose de prendre la mesure à travers une relecture de données issues d'observations de situations de création musicale (composition, improvisation, interprétation), l'organisation de séminaires, ainsi que la réalisation d'une enquête ethnographique.

PROJET MAKIMONO

–
 Équipe concernée : Représentations musicales
 Financement : ANR, programme DSo7
 Période de réalisation : 2017-2019
 Coordinateur : Ircam
 Collaborateurs : École de musique Schulich

L'orchestration est l'art de combiner les différents instruments afin d'atteindre divers objectifs sonores. Peu formalisé, ce savoir-faire est transmis empiriquement à travers des traités d'exemples, sans expliciter les raisons des choix du compositeur.

Ce projet vise à développer la première approche de l'objectif à long terme d'une théorie scientifique de l'orchestration en s'appuyant sur les domaines de l'informatique, de l'intelligence artificielle, de la psychologie expérimentale, du traitement du signal, de l'écoute artificielle et de la théorie musicale. Pour atteindre cet objectif, le projet exploitera un vaste ensemble de données de pièces orchestrales associant partitions symboliques numériques et rendus acoustiques multipistes. Des extraits orchestraux sont en cours d'annotation par des groupes d'experts en musique, en termes d'occurrence d'effets perceptuels. Cette bibliothèque de connaissances orchestrales sera utilisée via des techniques d'exploration de données et les approches récentes d'apprentissage profond. Notre objectif est d'évaluer d'abord les représentations optimales reliant partitions symboliques et enregistrements du point de vue de leurs capacités prédictives d'un effet perceptuel donné. Ensuite, nous voulons développer de nouvelles méthodes d'apprentissage et d'extraction de capacités de relier les signaux audionumériques, les partitions symboliques et les analyses perceptuelles en ciblant les espaces d'intégration multimodale (transformation de sources d'information multiples en un système de coordonnées unifié). Ces espaces peuvent fournir des relations métriques entre les modalités qui peuvent être exploitées à la fois pour la génération automatique et l'extraction des connaissances. Les résultats de ces modèles serviront ensuite à l'analyse de l'orchestration et seront également validés par des études perceptuelles approfondies. Avec la boucle entre les effets perceptuels et l'apprentissage, tout en validant les connaissances de niveau supérieur qui seront extraites, ce projet propose une nouvelle approche créative de l'orchestration et de sa pédagogie. Les résultats prévus comprennent le développement des premiers outils technologiques pour l'analyse automatique des partitions orchestrales, pour prédire les résultats perceptuels de la combinaison de sources musicales multiples, ainsi que le développement d'interfaces prototypes pour la pédagogie de l'orchestration, l'orchestration assistée par ordinateur et la performance instrumentale dans les ensembles. Ces travaux impliquent une collaboration internationale étroite avec le CRSNG canadien.

PROJET VERTIGO

<http://starts.eu/vertigo>

–
 Services concernés : direction IMR,
 direction générale, département Interfaces
 recherche/création, Communication
 Financement : Commission européenne, programme H2020,
 appel ICT36-2016
 Période de réalisation : décembre 2016 - mai 2020
 Partenaires : Artshare (Belgique), Fraunhofer ICT Group (Allemagne),
 Inova+ (Portugal), Culture Tech (France), École polytechnique
 Fédérale de Lausanne (Suisse), Libelium Comunicaciones (Espagne)
 Coordinateur : Ircam



Le projet Vertigo a été conçu et sélectionné en réponse au premier appel de la Commission européenne dans le cadre du programme H2020 ICT (technologies de l'information et de la communication) lié à l'initiative STARTS (Science, Technology and the Arts). L'enjeu général de STARTS est de promouvoir la collaboration d'artistes à des projets de R&D dans le champ ICT à des fins d'innovation et Vertigo s'attache à coordonner les différentes actions menées dans ce sens au niveau européen selon trois volets complémentaires :

- L'organisation de résidences d'artistes en lien avec des projets de R&D, dans le cadre d'appels à propositions annuels évalués par un comité de sélection international et interdisciplinaire. Un budget de 900 k€ est consacré au soutien en 3 cycles annuels d'un total de 45 projets de résidences artistiques visant notamment à constituer, par la production d'œuvres artistiques originales, des prototypes de cas d'usages innovants des technologies développées ;
- La présentation publique des différentes actions menées dans le cadre du nouvel événement annuel au Centre Pompidou, « Mutations / Créations », associant expositions, symposiums et événements artistiques et visant à exposer et débattre des évolutions des pratiques artistiques dans l'écosystème scientifique et technologique contemporain. L'édition inaugurale de mars 2017, liée aux expositions « Imprimer le monde » et « Ross Lovegrove », est placée sous le thème « L'espace simulé ou les formes du digital ».

Le développement d'une plateforme Web communautaire fédérant et mettant en contact les différents acteurs concernés (chercheurs, artistes, industriels, incubateurs, investisseurs) et offrant un support à leurs actions (communication, organisation de programmes particuliers de résidences artistiques, etc.). En sus du consortium de ses partenaires, le projet pilote un réseau international de 20 correspondants dans le champ culturel, comprenant notamment le Zentrum für Kunst und Media de Karlsruhe, le Victoria and Albert Museum de Londres, la Biennale de Venise, le festival Ars Electronica de Linz, etc.

PROJET ABC_DJ

Artist-to-Business-to-Business-to-Consumer
Audio Branding System

abcdj.eu

–



Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Financement : H2020 ICT19

Période de réalisation : janvier 2016 - décembre 2018

Partenaires : Technische Universität Berlin (coordinateur), HearDis!
Corporate Sound GmbH, FINCONS S.p.A., Lovemonk S.L., INTEGRAL
Markt- und Meinungsforschungsges.m.b.H., Fratelli Piacenza S.p.A.

Le projet ABC_DJ vise le développement de technologies avancées destinées aux agences européennes de création travaillant dans le champ de l'*audio branding*, c'est-à-dire de la sélection et de la diffusion de musiques enregistrées en rapport avec des caractéristiques de produits et de marques (boutiques, communication, etc.). L'enjeu est d'abord de permettre à ces agences de produire des contenus de haute qualité de sorte qu'elles soient compétitives par rapport aux quelques grands acteurs du marché. Le second enjeu est d'ouvrir la chaîne de valeur d'audio branding aux créateurs européens et aux labels indépendants en proposant de nouveaux modes de valorisation de leur production, notamment pour les musiques diffusées en boutiques. L'ensemble de musiques effectivement exploitables par les agences et les marques clientes devrait ainsi pouvoir être considérablement étendu.

L'approche scientifique et technique du projet combine des recherches en ingénierie des connaissances, en traitement de signal et des études d'usages et de marché pour assister le processus créatif et la diffusion automatisée de morceaux.

L'UMR STMS y est plus particulièrement en charge de la conception de nouveaux algorithmes d'analyse du contenu audio musical (auto-tagging en genre, émotions, instrumentations, estimation de la tonalité et du tempo) ainsi que de nouveaux outils pour permettre le mixage automatique (mesure de la qualité audio, segmentation en segments vocaux, analyse hiérarchique complète de la structure, résumés audio intelligents, séparation de sources audio).

PROJET DYCI2

Dynamiques créatives de l'interaction improvisée

–

Équipe concernée : Représentations musicales

Programme : ANR – programme générique

Période de réalisation : octobre 2014 – septembre 2018

Partenaires : Inria Centre Nancy-Grand Est, université de La Rochelle

Le projet Dynamiques créatives de l'interaction improvisée porte sur la constitution, l'adaptation et la mise en œuvre effective de modèles performants d'écoute artificielle, d'apprentissage, d'interaction et de création automatique de contenus musicaux pour permettre la constitution d'avatars musicaux numériques, autonomes, créatifs, capables de s'intégrer de façon interactive et artistiquement crédible dans des dispositifs humains variés tels que la scène vivante, la (post-) production, la pédagogie, ou de contribuer à terme aux compétences perceptives et communicatives de systèmes cyber-physiques.

Le projet met en avant l'interaction improvisée, à la fois comme modèle anthropologique et cognitif de l'action et de la décision, comme schéma de découverte et d'apprentissage non supervisé, et comme outil discursif pour l'échange humain - artefact numérique, dans une perspective de modélisation du style et de l'interaction.

L'objectif est de constituer des agents créatifs autonomes par apprentissage direct résultant d'une exposition au jeu vivant (live) de musiciens humains improvisant, en créant une boucle de rétroaction stylistique par l'exposition simultanée de l'humain aux productions improvisées des artefacts numériques eux-mêmes, donc à partir d'une situation de communication humain-artefact évoluant dans une dynamique complexe de co-créativité. Un apprentissage hors-ligne sur des archives peut aussi être anticipé pour « colorer » stylistiquement l'individualité numérique des agents ou situer l'expérience dans un genre (jazz, classique, pop etc.). La situation de jeu « live » peut-être étendue à des applications inédites comme l'interaction avec des archives audiovisuelles ressuscitées dynamiquement dans des scénarios créatifs ou pédagogiques de co-improvisation, ainsi que dans le cadre général des nouvelles formes narratives et de réalité virtuelle. Une collaboration avec l'EPFL et le Festival de jazz de Montreux nous donne à cet effet l'accès aux archives audiovisuelles du festival, un ensemble classé au patrimoine mondial par l'Unesco.

Le but est aussi bien de constituer une connaissance procédurale de la musique par cette interaction que de susciter une riche expérience instantanée communicative humain-numérique, susceptible de renvoyer une satisfaction esthétique à l'utilisateur, d'enrichir sa production sonore et musicale, de « dialoguer » avec lui, de l'imiter ou le contredire, et, en général, de stimuler et dynamiser l'expérience de jeu collectif.

COMPOSITION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (OPENMUSIC)

Équipe concernée : Représentations musicales

La recherche en composition assistée par ordinateur (CAO) a pour but d'étudier et concevoir des modèles et techniques informatiques adaptés aux processus de création, intégrant paradigmes de calcul, interactions et représentations musicales. Cette démarche met en avant une orientation symbolique s'appuyant sur les langages de programmation pour la création et le traitement des données harmoniques, temporelles, rythmiques ou des autres aspects entrant en jeu dans les processus compositionnels. Nos travaux dans ce domaine s'articulent principalement autour de l'environnement OpenMusic, un langage de programmation visuelle basé sur Common Lisp et dédié à la composition musicale. Cet environnement utilisé par les compositeurs de musique contemporaine depuis une quinzaine d'années, est aujourd'hui considéré comme l'une des principales références dans le domaine de la composition assistée par ordinateur. Enseigné dans les principaux centres d'informatique musicale ainsi que dans plusieurs universités en Europe et dans le monde, il a fait l'objet de plusieurs dizaines de milliers de téléchargements.

OpenMusic (OM) est un environnement de programmation visuelle pour la composition ou l'analyse musicale assistées par ordinateur. OM offre à l'utilisateur de nombreux modules associés à des fonctions, connectés les uns aux autres pour constituer un programme (ou patch) permettant de générer ou transformer des structures et données musicales. OM propose également de nombreux éditeurs permettant de manipuler ces données, ainsi que des bibliothèques spécialisées dans des domaines tels que l'analyse et la synthèse sonore, les modèles mathématiques, la résolution des problèmes de contraintes, etc. Des interfaces originales comme l'éditeur de maquettes permettent de construire des structures intégrant relations fonctionnelles et temporelles entre les objets musicaux. OpenMusic est utilisé par un grand nombre de compositeurs et de musicologues, et est enseigné dans les principaux centres d'informatique musicale ainsi que dans plusieurs universités en Europe et dans le monde.

Récemment, un nouveau paradigme de calcul et de programmation a été proposé au sein de l'environnement OpenMusic, combinant l'approche existante basée sur le style fonctionnel/*demand-driven* à une approche réactive inspirée des systèmes interactifs temps réel (*event-driven*). L'intégration des boucles d'exécution et de calcul des structures musicales permet l'activation de chaînes réactives dans les programmes visuels, et accroît les possibilités d'in-

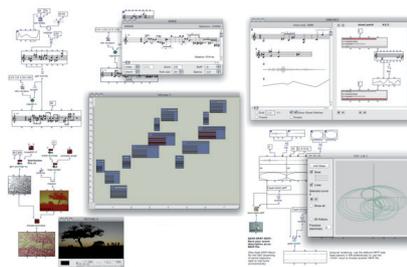
teraction dans l'environnement de CAO: un changement ou une action de l'utilisateur (événement) dans un programme ou dans les données qui le composent, produit une série de réactions conduisant à sa mise à jour (réévaluation). Un événement peut également provenir d'une source extérieure (typiquement, un port MIDI ou UDP ouvert et attaché à un élément du programme visuel); ainsi, une communication bidirectionnelle peut être établie entre les programmes visuels et des applications ou dispositifs externes.

L'environnement de CAO se trouve alors inséré dans la temporalité d'un système plus large, et potentiellement régi par les événements et interactions produits par ou dans ce système. Cette temporalité peut être celle du processus de composition, ou celle de la performance.

La richesse expressive des environnements de CAO tient en grande partie aux croisements qu'elle permet de réaliser entre relations temporelles et fonctionnelles au sein des structures musicales. Si dans un cadre classique « temps différé » les processus de calcul et d'exécution des structures musicales ont lieu dans des phases et temporalités distinctes, nous nous intéressons ici à des situations interactives où l'ordonnement des événements musicaux est susceptible de dépendre, ou d'interagir avec les processus génératifs mis en œuvre dans un contexte compositionnel ou performatif donné.

Une nouvelle architecture a été définie dans cet objectif, liant les structures musicales produites dans l'environnement de CAO à la structure d'ordonnement. Cette architecture repose sur une représentation hiérarchique des objets musicaux agissant directement sur leur conversion en séquences d'actions.

Sur cette architecture, différents prototypes de noyaux d'ordonnement ont été élaborés, permettant d'intégrer à l'environnement OpenMusic l'idée d'un « séquenceur dynamique », qui permettrait la modification ou la génération « à la volée » de données musicales pendant le rendu d'une partition. Les différents modèles et optimisations, spécifiques à chacun de ces prototypes, les rendent plus ou moins adaptés à différents cas de figure et situations musicales: partitions statiques, matériau statique à ordonnancement dynamique, matériau entièrement dynamique... La conception d'un modèle unifiant fait partie des objectifs à moyen terme de ce projet.



ÉCRITURE DU SON ET DE L'ESPACE

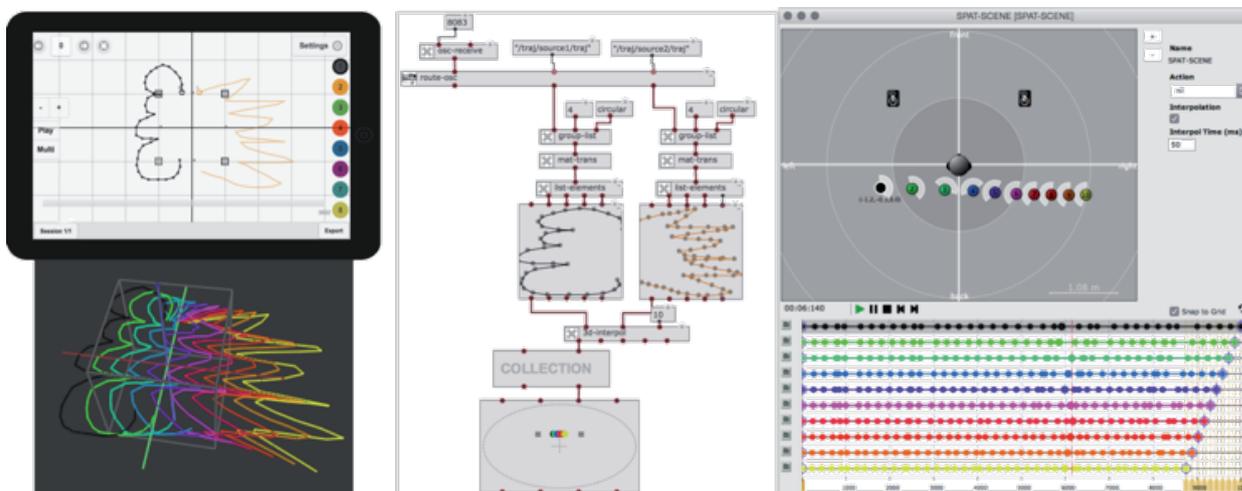
Équipe concernée : Représentations musicales

Les technologies d'analyse, traitement et synthèse du signal sonore permettent d'entrevoir des modalités d'écriture inédites assimilant la création sonore au cœur de la composition musicale. OpenMusic permet l'intégration de telles technologies via un ensemble de bibliothèques spécialisées liant les programmes créés dans l'environnement de CAO aux processus de traitement, de synthèse ou de spatialisation sonore (réalisés notamment par des outils de l'Ircam : SuperVP, Pm2, Chant, Modalys, Spat~, mais également des outils externes comme Csound ou Faust). Ce rapprochement des domaines du son et de la CAO constitue une approche nouvelle pour la représentation et le traitement sonore à travers des programmes et structures de données symboliques de haut niveau.

Développée en collaboration avec le compositeur Marco Stroppa, la bibliothèque OMChroma permet de contrôler des processus de synthèse sonore à l'aide de structures de données matricielles.

Son extension au domaine de la spatialisation, OMPrisma, permet de réaliser des processus de « synthèse sonore spatialisée », faisant intervenir la spatialisation (positions et trajectoires, mais également caractéristiques de salle, orientation ou directivité des sources sonores) au moment de la production des sons. Contrôlés dans OpenMusic grâce à un ensemble d'éditeurs graphiques et d'opérateurs, ces outils offrent une grande richesse dans la spécification conjointe des sons de synthèse et des scènes spatiales. Le projet OM-Chant a récemment permis de remettre sur le devant de la scène la technologie de synthèse par FOFs (fonctions d'ondes formantiques), et de réaliser au cœur des processus de CAO des sons de synthèses inspirés du modèle de production vocal.

La thématique de l'espace, et la collaboration avec l'équipe EAC, a été renforcée avec la conception d'interfaces et de connexions logicielles innovantes pour le contrôle des processus de spatialisation sonore. Les objets et outils de conception spatiaux 2D/3D OpenMusic ont été fondus dans un modèle de données temporisé, permettant une gestion homogène. Connectés au moteur d'ordonnancement de l'environnement de CAO, les composants graphiques et les processeurs de signaux de la bibliothèque Spat permettent de représenter des scènes sonores spatiales et leur évolution dans le temps de manière inédite au sein de processus compositionnels des spécifications et transformations temporelles.

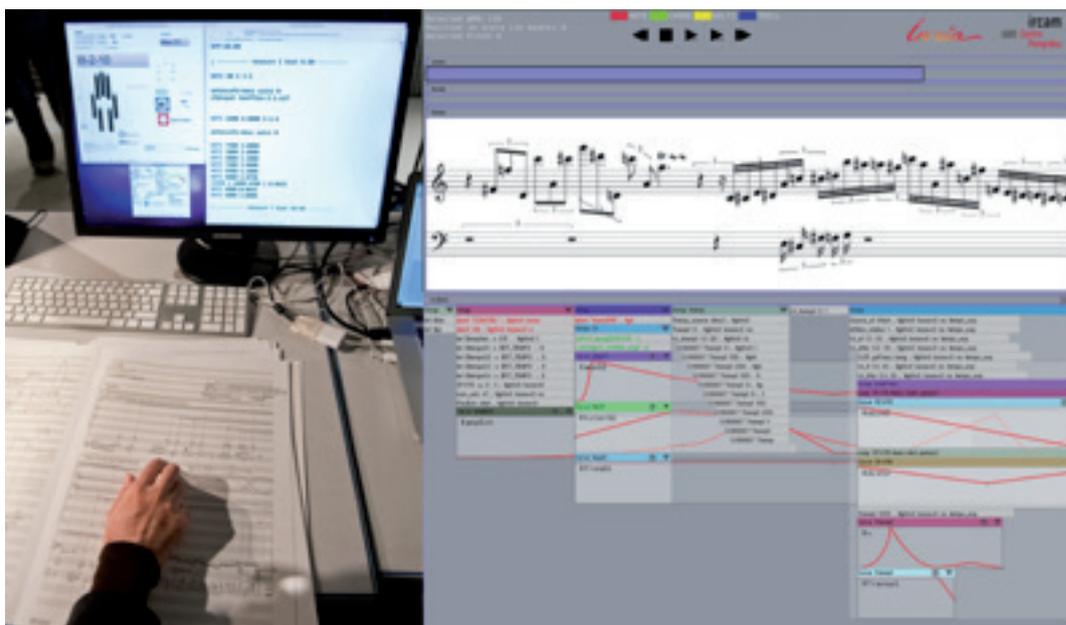


ÉCRITURE DU TEMPS SYNCHRONE

Équipe concernée : Représentations musicales

Dans le contexte de l'exécution d'œuvres contemporaines associant parties instrumentales et informatiques, le suivi de partition est une technique souvent employée pour la synchronisation de l'accompagnement électronique avec un instrument soliste. La partition est enregistrée dans l'ordinateur dans un format spécifique contenant à la fois les éléments essentiels de la partition instrumentale et une écriture de la partie informatique avec un langage musical synchrone. Lors de l'exécution, l'analyse en temps réel du son et/ou du geste capté auprès de l'interprète est mise en comparaison avec la partition enregistrée. L'algorithme de suivi détermine à chaque instant de l'interprétation la position correspondante dans la partition et synchronise les processus programmés dans la partie électronique de l'œuvre.

Le suiveur de partition (Antescofo) intègre désormais également un langage synchrone temps réel, permettant une écriture du temps et une interaction pour la partie électronique. L'utilisation de cette technologie permet une écriture cohérente entre les parties électroniques et instrumentales au temps de la composition, et une exécution synchrone et polyphonique des modules électroniques avec les musiciens en temps réel. Son développement est prévu pour une adaptation aux différentes familles d'instruments et à la reconnaissance de formes musicales, ainsi qu'une augmentation des paradigmes d'écriture synchrone pour la partie électronique. Ce dispositif intègre donc deux problématiques importantes en informatique musicale : la reconnaissance et l'extraction des données musicales en temps réel (écoute artificielle) depuis un signal audio, et la programmation synchrone réactive pour l'écriture du temps et de l'interaction.



INTERACTIONS MUSICALES IMPROVISÉES - OMAX & CO

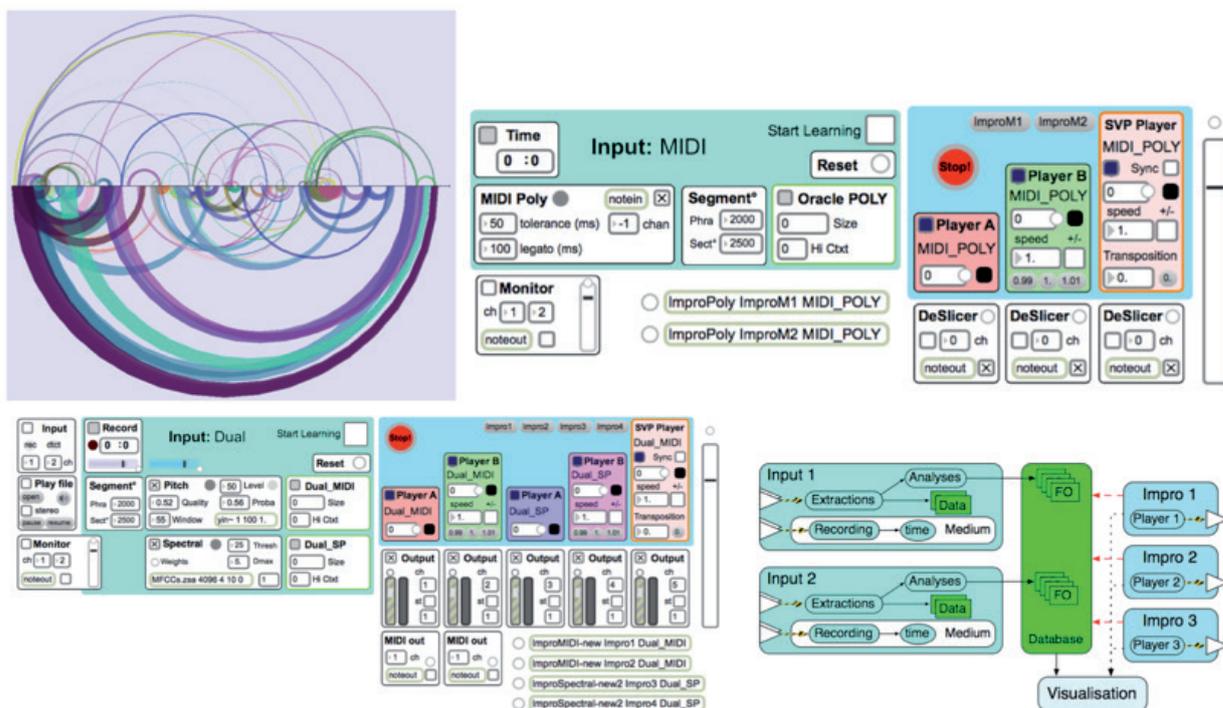
Équipe concernée : Représentations musicales

Ce projet concerne le développement de situations d'interactions musicales improvisées humains/ordinateur. Un nouveau paradigme d'interaction a été inventé par l'équipe et s'est largement diffusé, porté par le logiciel OMax.

Utilisant des techniques issues de l'apprentissage automatique (Machine Learning) et des langages formels, OMax apprend ses connaissances de manière non supervisée à partir d'un flux MIDI ou audio, produit par le musicien. Le processus sous-jacent à cette interaction peut être nommé « réinjection stylistique ». Le musicien est informé en continu par plusieurs sources formant un feed-back complexe. Il s'écoute jouer, il écoute les autres dans le présent, tout en mémorisant des images sonores qui dérivent ainsi du présent vers le passé. De la mémoire à moyen et à long terme, ces motifs, combinés à des images encore plus anciennes (répertoire, culture musicale), peuvent revenir au présent en

ayant subi plusieurs transformations, dont une des plus communes en improvisation est la recombinaison formelle. OMax modélise ce processus mémoriel lui-même et permet de le « réifier » donc de le donner à entendre sur scène. Il réinjecte alors des figures musicales issues de la mémoire à court et long terme sous forme de reconstruction à la fois semblable et innovante, il fournit ainsi au musicien des stimuli à la fois familiers et provocants.

Ce projet a donné lieu à deux nouvelles recherches, SoMax qui explore la réactivité immédiate de l'agent artificiel à son environnement sonore, et Improtek (avec l'EHESS) qui explore la notion d'improvisation guidée dans le cadre d'un scénario convenu (e.g. grille harmonique). Le projet ANR DyCI2 a pour vocation d'étudier la synthèse de ces approches avec des techniques innovantes d'écoute artificielle.

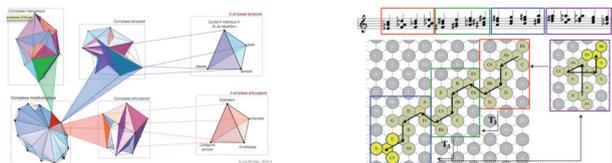


MATHÉMATIQUES ET MUSIQUE

Équipe concernée : Représentations musicales

Le projet « Modèles algébriques, topologiques et catégoriels en musicologie computationnelle » a été retenu par le CNRS à l'occasion de la création d'un poste de directeur de recherche au sein de l'équipe Représentations musicales. Ce projet fait suite au projet MISA (Modélisation informatique des structures algébriques en musique et musicologie) dont il élargit le spectre d'outils mathématiques au service du musicologue computationnel (des outils issus non seulement de l'algèbre mais aussi de la topologie et de la théorie des catégories). En même temps, il s'attaque aux articulations entre musique savante et popular music (rock, pop, jazz et chanson), dans une dimension à la fois théorique mais aussi pratique. Le projet bénéficie d'un quadruple ancrage institutionnel: au sein de la Society for Mathematics and Computation in Music (société internationale dont l'activité a été fédérée par le précédent projet MISA), du GDR ESARS (Esthétique, Art et Science), d'une collaboration avec l'IReMus de Sorbonne Université (dans le cadre des rencontres internationales du Centre de Recherche sur les Musiques Populaires) et d'un partenariat avec l'université de Strasbourg (en particulier l'IRMA et le Labex GREAM). Ce projet alimente, de surcroît, le séminaire mamuphi (mathématiques, musique et philosophie), coorganisé avec l'école normale supérieure, ainsi que les deux collections Musique/Sciences (chez Delatour France) et Computational Music Sciences (chez Springer).

La programmation spatiale vise, elle, à modéliser des problèmes comme déplacements dans un espace ou comme transformation de structures spatiales. Elle fournit des outils informatiques permettant de développer des analyses dans la lignée de la Set Theory. Ce travail a déjà permis d'explorer la pertinence d'outils topologiques pour la représentation et la classification d'objets musicaux tels le calcul des séries tous intervalles, la théorie harmonique néorieimannienne et la représentation géométrique de suites d'accords.



Il en est résulté un environnement expérimental d'aide à l'analyse de séquences musicales appelé HexaChord. HexaChord est un environnement permettant de construire des représentations spatiales associées à un ensemble d'accords et de les analyser à travers plusieurs notions topologiques. Les représentations spatiales proposées comportent divers Tonnetz et les complexes simpliciaux correspondant aux ensembles de hauteurs des accords. Le logiciel propose des visualisations 2D et 3D des représentations produites.

OUTILS DE PUBLICATION MULTIMÉDIA POUR LA MUSICOLOGIE

Équipe concernée : Analyse des pratiques musicales

Cette recherche visait à expérimenter et, dans certains cas, standardiser des formats originaux de publication multimédia sur la musique. On peut dire que n'importe quel discours analytique sur la musique contient, en soi, un fort potentiel de « multimédia » puisqu'il comprend un texte (le commentaire verbal) et des pointeurs vers des données musicales (citations d'exemples musicaux, références à des mouvements ou des passages des œuvres, etc.). Pourtant, paradoxalement, ce n'est que récemment que les musicologues se sont intéressés aux nouvelles possibilités expressives de la publication multimédia (en ligne et sur support), jusqu'alors limitées aux publications de CD-Rom éducatifs et culturels.

Pour contribuer à ce mouvement, nous avons procédé à une démarche en deux temps.

D'abord, l'expérimentation consistant à réaliser diverses analyses musicologiques dans un environnement multimédia, en spécifiant au fur et à mesure cet environnement en fonction des étapes de la démarche analytique. Cette activité d'expérimentation se concrétise, d'une part, par le développement d'outils d'analyse en collaboration avec des musicologues (par ex. « Charting the Score, outil de mise en tableau de partition », en collaboration avec Jonathan Goldman); d'autre part, par la publication de documents multimédia, sur DVD-Rom (tels ceux joints à *L'inouï*, revue de l'Ircam en 2005 et 2006) et dans des revues en ligne telles que *DEMeter* (université de Lille-3) ou *Musimédiane* - revue audiovisuelle et multimédia d'analyse musicale.

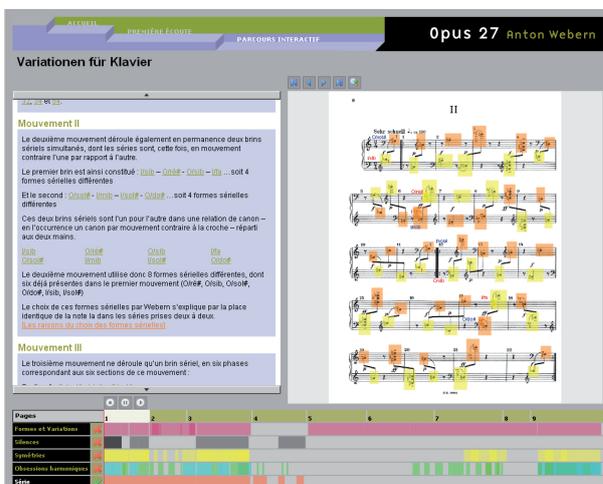
Ensuite, par un processus de comparaison et d'abstraction, nous avons procédé à la formalisation des opérations analytiques mises en jeu. Ceci a permis de standardiser des formats de publication utilisant le texte, le son et l'image - non seulement pour les besoins spécifiques des musicologues mais aussi pour des modalités voisines de publication sur la musique, propres aux projets institutionnels de l'Ircam (refonte de la base de données Brahms, constitution du Répertoire Ircam, documentation logicielle).

Les enjeux relèvent du génie documentaire: utiliser un format bien défini (pour faciliter le traitement des données) mais cependant pas trop contraignant pour les auteurs; pouvoir intégrer des exemples musicaux visuels et sonores; rendre possible plusieurs types de publication (sur le web, sous forme de CD-Rom ou DVD-Rom, mais aussi en version papier). Pour ce faire, et étant donné la quantité de commandes impliquées par ces projets, il est impossible de compter sur une mise en forme manuelle des données fournies par les auteurs pour chaque publication. Il faut donc passer par un outil dédié à ces types de publication et intégrant les contraintes précédemment énumérées. C'était l'objet de notre participation au projet RIAM Ecoute (« Environnement auteur pour l'écoute musicale instrumentée, la gestion des archives

sonores et leur publication multisupport ») et au projet RNTL Scenariplatform.

L'ensemble de cette démarche a d'ores et déjà permis d'établir un format de publication pour l'analyse musicale, expérimenté au départ dans une maquette de cours en ligne pour le projet européen MusicWeb (2003), puis dans une publication scientifique sur l'analyse d'interprétation (2005) et, enfin, formalisé lors de la conception d'une série de CD-Roms associée au projet Musique Lab2 (2006-2007) dans le cadre d'un accord entre l'Ircam et la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les CD-Roms réalisés, portant, l'un sur *Les Variations* op. 27 de Webern, l'autre sur *Voi(rex)* de P. Leroux, proposent deux niveaux de lecture de l'œuvre :

- Le premier introduit l'œuvre en donnant à lire la partition au fil de l'écoute, enrichi de quelques éléments contextuels en cours de lecture ;
- Le second propose plusieurs points analytiques sur l'œuvre, dont chacun pointe, au moyen de lien hypermédia, vers des passages clefs de la partition annotée par l'auteur au moyen du logiciel Musique Lab annotation. L'intégralité du contenu est produite par l'auteur lui-même à l'aide de l'outil auteur Scenari-CHAIN et de la suite logicielle Musique Lab.



Un parcours interactif dans *Les Variations* op. 27 d'Anton Webern (par Emmanuel Ducreux en collaboration avec Nicolas Donin et Samuel Goldszmidt), CD-Rom conçu et édité par l'Ircam et la Région PACA © 2007.

THÉORIES DE LA COMPOSITION MUSICALE AU XX^e SIÈCLE

–
Équipe concernée : Analyse des pratiques musicales,
Financement : CNRS, Réseau international d'études des écrits de compositeurs (université de Montréal), éditions Symétrie (Lyon)

Ce projet éditorial commencé en 2003 visait à publier un panorama substantiel des principales théories compositionnelles du XX^e siècle. Alors que certains corpus théoriques ont été largement diffusés et commentés (Schoenberg, Xenakis, Boulez, Stockhausen...), d'autres, tout aussi importants pour l'histoire et l'esthétique musicales, restent mal connus faute d'introductions synthétiques disponibles. Musiciens et musicologues ne disposaient pas, à ce jour, d'un ouvrage de référence sur la relation féconde entre composition et théorie au cours du siècle passé.

Pourtant, la fécondité de cette relation a été déterminante dans le développement de la musique contemporaine, et notamment de l'informatique musicale. Croisant musicologie historique, exégèse des corpus théoriques et analyse musicale, l'ouvrage dirigé par N. Donin et L. Feneyrou comble le manque actuel d'une publication collective de référence sur les théories compositionnelles d'un siècle caractérisé par l'abondance des écrits de créateurs, des recherches sur les systèmes de composition, et des manifestes esthétiques définissant techniques et technologies musicales.

Une soixantaine de spécialistes internationaux a été réunie pour traiter, d'une part, des théories compositionnelles spécifiques d'individus (ou d'écoles), de Schoenberg à Rihm en passant par Hindemith ou Carter ; d'autre part, des catégories et problématiques ayant émergé au long du siècle, telles que : « musique algorithmique », « live electronics », « théâtre musical », « spectralisme », etc. De nombreux corpus inconnus en langue française, et parfois inédits, sont présents aux côtés de thématiques mieux explorées par la musicologie au cours des quarante dernières années.

Les contributions proposent un exposé synthétique, à la fois technique et historique, de ces notions et/ou doctrines, en se basant à chaque fois sur l'état actuel des connaissances à propos des articles, manifestes, etc., des compositeurs étudiés.

Les participants, par leur diversité, reflètent les différents aspects de la musicologie vingtiémiste, de Philippe Albèra à Elena Ungeheuer, d'Angelo Orcalli à Richard Toop.

L'ouvrage, composé de deux tomes d'environ 900 pages chacun, est paru aux éditions Symétrie fin 2013.

PROJET ORCHESTRATION

-

Équipe concernée : Représentations musicales

Financement : Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (SSHRC)

Période de réalisation : avril 2015 - mars 2018

Partenaires : université McGill (Canada, coordinateur), Haute École de musique de Genève (Suisse)

L'un des aspects les plus complexes et mystérieux de la composition musicale, encore relativement peu abordé systématiquement dans le champ scientifique, concerne l'écriture du timbre, en particulier par les techniques d'orchestration. Le projet se fonde sur une confrontation de l'état de l'art en musicologie, en psychologie de la perception et en informatique musicale pour la création de nouveaux outils permettant d'aborder les problématiques liées à l'orchestration, sa perception et sa pédagogie. L'objectif est de développer des modèles généralisables qui facilitent l'apprentissage et la pratique de l'orchestration, assistés par les nouvelles technologies. L'enjeu à long terme est de constituer un traité d'orchestration interactif intégrant les connaissances sur les pratiques de l'orchestration, la perception des effets orchestraux, ainsi que des outils numériques pour aider à résoudre des problèmes d'orchestration, y compris pour l'écriture de parties électroniques d'œuvres mixtes. Le projet s'appuie à cet effet sur un important volet d'annotations de corpus de musique classique selon un ensemble de catégories pertinentes, destinées à alimenter à la fois des expériences perceptives, des supports pédagogiques et à constituer des données d'entraînement pour des algorithmes d'apprentissage automatique.

Le rôle de l'UMR STMS dans le projet porte sur les applications de l'informatique musicale et de l'intelligence artificielle aux outils d'aide à l'orchestration, sur la base du logiciel Orchids et de nouvelles recherches faisant appel à des techniques d'apprentissage profond.

PROJET RAPID-MIX

Outils et modules musicaux pour les designers numériques et les créateurs de contenus

-

Équipe concernée : Interaction son musique mouvement

Financement : programme H2020- ICT22-2014-c

Période de réalisation : février 2015 – janvier 2018

Partenaires extérieurs : Universitat Pompeu Fabra (coordinateur), Goldsmiths' College, Plus – Wireless Biosignals SA, Reactable Systems, Somethin'Else Sound Directions Ltd, Lambde Limited (Roli), Orbe SARL

L'objectif du projet européen Rapid-Mix est de développer de nouveaux modes d'interaction musicale en intégrant des données multimodales liées aux mouvements et au corps. D'un point de vue méthodologique, le projet se base sur des approches centrées utilisateur et sur le développement rapide de prototypes. Des techniques avancées d'analyses de signaux et d'apprentissage automatique sont également utilisées. Le transfert de ces technologies vers les PME participantes représente un aspect important du projet. Dans ce projet, l'UMR STMS est en charge d'une tâche sur le développement d'applications prototypes (agile prototyping) et participe également à toutes les autres tâches du projet.

PROJET COSIMA

Médias collaboratifs situés

cosima.ircam.fr

—

Équipes concernées : Interaction son musique mouvement,

Espaces acoustiques et cognitifs

Financement : ANR, programme Contenus et interactions

Période de réalisation : novembre 2013 - avril 2017

Partenaires extérieurs : Orbe, EnsadLab, ID Scenes, ESBA TALM,

No Design

Coordinateur : Ircam



Les dix dernières années ont vu une forte évolution des médias dans leur relation au corps et à l'espace avec les interfaces tangibles, la réalité augmentée et le web ambiant. Dans ce mouvement, COSIMA propose d'explorer la relation entre corps, média et espaces à travers de nouvelles interfaces et outils de création collaboratifs. COSIMA vise

la mise en œuvre d'une plateforme pour l'édition et la diffusion de médias situés dans l'espace, le temps, et combinant plusieurs modalités sensorielles. Ces contenus associent proprioception et perception en engageant le corps dans leur phase de création et de réception. Le principe de réalité augmentée superpose un espace numérique à l'espace tangible. Le déploiement d'un tel espace permet l'édition de médias situés et collaboratifs. Les applications de la plateforme COSIMA incluent des projets artistiques, des services publics innovants, l'événementiel et la communication.

• Mise en œuvre d'une plateforme accessible

L'objectif principal de COSIMA est de démocratiser ce nouveau type de média à travers une plateforme accessible, générique, ouverte, et interopérable. Le projet vise la mise en place d'une plateforme reposant sur des formats standards et ouverts pour permettre une mise en relation avec une variété de technologies mobiles et de dispositifs existants. La plateforme va considérablement faciliter la mise en œuvre de ce type d'expérience à un coût réduit et accessible à un large public (institutions culturelles, services publics, entreprises privées, artistes, etc.). La mise en œuvre d'un tel environnement d'expression multimodale dans l'espace tangible nécessite un dispositif comprenant différents composants : des applications clientes installées sur des terminaux mobiles connectés au réseau, un web-service proposant une API ouverte, un serveur de bases de données ainsi qu'une interface d'administration des contenus.

• Créer des nouvelles expériences participatives

L'élaboration de la plateforme nécessite également un travail sur les usages et de validation. Pour cela, nous développerons des prototypes à chaque étape du projet dans l'objectif de mettre nos scénarios à l'épreuve et d'en collecter et analyser les résultats pour améliorer la plateforme. Le projet COSIMA définit ainsi un contexte d'expérimentation selon différents axes : la création de médias visuels et sonores associés à des informations de déplacement et de mouvement pour créer des cartographies ou des parcours en réalité augmentée. Le partage de médias situés dans un espace social pour la mise en scène de jeux pervasifs ou de zones d'expression publique. La diffusion temps réel de médias situés vers une communauté d'utilisateurs permettant le déploiement de mobs, de spectacles vivants ou d'expériences « large group ».

• Soutenir le développement de communautés pour la création et diffusions de médias numériques.

L'évolution combinée du web et des plateformes mobiles définit de nouveaux paradigmes pour la diffusion de médias. La plateforme COSIMA favorise l'émergence et la structuration de communautés autour de ces nouveaux médias.

PROJET EFFICAC(e)**Environnements réactifs pour la composition musicale assistée par ordinateur**

–

Équipes concernées : Représentations musicales, Interaction son musique mouvement, Espaces acoustiques et cognitifs

Financement : ANR, programme JCJC SIMI2

Période de réalisation : octobre 2013 - mars 2017

Coordinateur : Ircam

Collaboration : CNMAT-UC Berkeley

Le projet EFFICAC(e) initie une dynamique nouvelle pour le développement d'outils de composition assistée par ordinateur (CAO), explorant de nouveaux rapports entre calcul, temps et interactions articulés autour de l'environnement OpenMusic et d'autres technologies développées à l'Ircam et au CNMAT. Ce projet vise à décloisonner les processus de CAO du domaine strictement « hors temps » afin de les intégrer dans une interaction structurée avec leur contexte, au niveau de la performance, de l'exécution, ou au niveau compositionnel (dans les processus qui conduisent à la création de matériau musical).

Cette démarche se concentre dans un certain nombre de directions spécifiques, notamment :

- Processus réactifs en CAO : communication et propagation d'événements au sein de processus compositionnels.
- Gestion des flux temporels : écriture, ordonnancement dynamique, relations entre le temps déroulé d'exécutions « musicales » et les processus de calcul « hors temps » ; représentation des constructions temporelles ;
- Contrôle, visualisation, exécution de processus des synthèse et spatialisation sonore ;
- Interactions gestuelles dans les processus compositionnels.

Différents aspects critiques dans le domaine de l'informatique musicale sont ainsi abordés (approches signal vs. symbolique, hors temps vs. temps réel), liant la CAO à des cadres techniques et paradigmatiques divers tels que le traitement, la spatialisation sonore ou l'intégration gestuelle et insérant contrôle et interactions musicales dans des systèmes compositionnels abstraits et expressifs.

PROJET GEMME**Geste musical : modèles et expériences**

–

Équipes concernées : Analyse des pratiques musicales, Interaction son musique mouvement

Financement : ANR, programme Blanc SHS

Période de réalisation : novembre 2012 - juin 2016

Partenaires extérieurs : université de Nice-Sophia Antipolis (CTEL : Centre transdisciplinaire d'épistémologie de la littérature)

Coordinateur : Ircam

Au cours des années 2000, le geste est devenu un moyen privilégié d'interaction avec les technologies, auprès du grand public comme au sein de la communauté des musiciens. Si l'écriture musicale dématérialise, décompose et reconstruit le corps du musicien-interprète depuis presque cinquante ans, on observe plus particulièrement, depuis une dizaine d'années, une forte convergence interdisciplinaire sur cet objet de recherche/création intéressant compositeurs, interprètes et informaticiens, mais aussi sciences de l'ingénieur, psychologie, physiologie, biomécanique et sciences cognitives. Or, cette notion de geste, par ailleurs couramment employée dans nombre de domaines, notamment, depuis longtemps, dans les arts du spectacle (théâtre, danse, performance...), n'a encore fait l'objet que d'embryonnaires recherches en musicologie.

Dans ce contexte, le projet GEMME propose une analyse serrée de textes théoriques et d'œuvres musicales, mais aussi mène des enquêtes sur l'amont et l'aval de la partition : de quelles possibilités théoriques et techniques de formalisation du geste disposent les compositeurs ? Quelles procédures gestuelles expérimentent-ils sur le papier et lors de la réalisation pratique de l'œuvre ? Quelles modalités de transmission de l'information gestuelle s'élaborent non seulement dans la collaboration entre compositeurs et interprètes, mais aussi dans l'enseignement de l'interprétation ? Autant de questions auxquelles ce programme se propose de répondre à travers quatre chantiers principaux :

- 1) *Théories implicites du geste* (généalogie de la notion compositionnelle de geste, avec ses catégorisations et ses périodisations, et son état de l'art actuel) ;
- 2) *Geste et scène* (étude d'une démarche paradigmatique, celle de Kagel, où la notion musicale se noue à son expression scénique, dans le cadre du théâtre musical et instrumental) ;
- 3) *Geste et instrument* (étude d'une démarche paradigmatique contrastante, celle de Lachenmann, où la composition interroge le détail des possibilités organologiques de production du son en relation avec une critique politique et sociale des conventions expressives) ;
- 4) *Geste et technologie* (série d'analyses musicales d'un ensemble de partitions de référence, de *Time and Motion Study II* de Ferneyhough jusqu'à *Luna Park* d'Aperghis, qui déclinent plusieurs paradigmes techniques et informatiques formalisant et/ou accompagnant le geste instrumental).

PROJET WAVE

Web Audio: édition/visualisation

—

Équipes concernées : Analyse des pratiques musicales,

Interaction son musique mouvement

Financement : ANR, programme Contenus et interactions

Période de réalisation : novembre 2012 - octobre 2015

Partenaires extérieurs : Eurecom Sophia Antipolis,

Universal Music Publishing Classical, Vi-live

Coordinateur : Ircam

Le projet WAVE vise à formaliser de nouveaux moyens d'édition, de visualisation et d'interaction avec des objets temporels audiovisuels diffusés sur le web.

Il donnera lieu à la conception et au développement de briques logicielles concernant les interfaces et interactions utilisateurs, les interfaces audionumériques, les interfaces clients/serveurs, et leurs échanges de données. Ces différentes briques logicielles seront issues de l'analyse de pratiques musicales expertes confrontées à des usages ordinaires d'applications et standards du web, dans le but de proposer des cas d'usages innovants.

Le projet a pour objectif d'intégrer ces briques logicielles pour développer de nouveaux services et enrichir ceux existants. Moyens nouveaux de consommer et partager des documents musicaux et audiovisuels en ligne, ces services seront mis en place dans le cadre du projet et mis à disposition des utilisateurs par les partenaires du projet dans le cadre de développements de leurs produits et/ou nouvelles offres commerciales.

Le projet utilisera d'une part les standards du W3C (particulièrement HTML5 et la nouvelle plateforme web), en les complétant si besoin, et d'autre part, les possibilités d'interaction offertes par les nouveaux terminaux, afin de proposer des interfaces cohérentes, accessibles et innovantes et des nouvelles expériences utilisateurs adaptées à la consultation, à l'interaction, à l'annotation, à la transformation et au partage d'objets temporels. Dans un contexte technologique web protéiforme, la formalisation et l'instanciation de ces multiples interfaces dans différentes technologies et prenant appui sur des standards et recommandations du W3C contribueront à l'émergence d'un web véritablement hypermédia et interactif. Dans un contexte de crise des industries culturelles, et particulièrement celles ayant trait à la musique, les entreprises partenaires et les partenaires institutionnels pourront mettre à profit ces cas d'usage et exploiter de nouveaux marchés à travers des dispositifs innovants d'écoute et de consultation interactives et enrichies de flux temporels sur le web.

Le projet s'est notamment traduit par l'organisation à l'Ircam, les 26, 27 et 28 janvier 2015, de la première Web Audio Conference (WAC) en collaboration avec Mozilla, Google, et le W3C.

PROJET INEDIT

Interactivité dans l'écriture de l'interaction et du temps

A
 M O D E L E R
 A C T I O N
 R
 I N E D I T
 T E M P S
 M U S I Q U E
 R
 I N T E R A G I R

—

Équipe concernée : Représentations musicales

Financement : ANR, programme Contenus et interactions

Période de réalisation : septembre 2012 - août 2015

Partenaires extérieurs : LaBRI, Crame

L'objectif du projet INEDIT est de permettre l'interopérabilité des outils de création sonore et musicale, afin d'ouvrir la voie à de nouvelles dimensions créatives couplant écriture du temps et écriture de l'interaction. Nos motivations reflètent les efforts internationaux pour réconcilier la division actuelle entre les aspects «compositionnels» et «performatifs» des outils existants de création sonore.

Cette division est apparente dans la catégorisation des outils en «composition assistée par ordinateur» et «temps réel».

Pour le compositeur, les outils «orientés performance» (synthèse et traitements, mixage, post-production audio) se limitent souvent à des métaphores des sources de production et de traitement (notamment oscillateurs, filtres, modèles physiques). Cependant, ces métaphores doivent s'intégrer dans un langage symbolique comme celui de la partition afin de permettre une réelle écriture musicale et favoriser des modalités plus puissantes de représentation, de conceptualisation et de communication.

Inversement, les outils «orientés composition» peinent à prendre en compte une nouvelle problématique, celle de l'interaction: un dispositif sonore correspond de moins en moins à une œuvre fermée et spécifiée totalement à l'avance, mais doit de plus interagir en temps réel avec un environnement. C'est le cas par exemple pour les œuvres musicales interactives, les jeux vidéo, l'habillage sonore, les dispositifs et installations multimédia, etc.

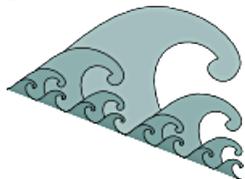
Notre approche repose sur une vision langage: une œuvre interactive est vue comme un interprète (au sens informatique) qui doit articuler des flux temporels bas niveaux localement synchrones (le signal audio) dans un temps événementiel globalement asynchrone (les événements pertinents pour le processus de composition). Le projet INEDIT promeut aussi une approche hybride permettant la coopération de différents outils et approches stylistiques au sein d'un environnement supportant toutes les phases du workflow musical, de la composition à la performance. Pour atteindre ces objectifs, il faut développer de nouvelles technologies: ordonnanceur dédié, mécanismes de couplage coopératif, compilation au vol, ainsi que les visualisations innovantes et les interfaces tangibles qui permettront de spécifier et de contrôler en temps réel les processus musicaux sous-jacents d'une manière naturelle pour le créateur et le concepteur.

PROJET HOULE

Hierarchical Object based Unsupervised Learning

houle.ircam.fr

-



Équipes concernées : Analyse et synthèse des sons,
Perception et design sonores, Représentations musicales
Financement : ANR, programme Jeunes chercheurs
Période de réalisation : septembre 2011 - janvier 2015

Dans le cadre du projet HOULE, nous proposons des techniques originales d'apprentissage non supervisé pour résoudre le problème de la structuration des scènes auditives (Computational Auditory Scene Analysis: CASA), problème consistant à identifier et décrire les objets sonores constituant une scène. CASA est un domaine très actif du traitement du son ayant de nombreuses applications. Les points bloquant les méthodes actuelles sont :

- Ne pouvant faire d'hypothèse sur la nature des objets traités, on ne peut les modéliser a priori;
- Les objets mélangés dans la scène ne peuvent être observés en isolation;
- Leur structure est gouvernée par de nombreuses relations dont la priorité est difficile à établir.

Les caractéristiques dont nous tirons parti pour notre approche sont, l'organisation hiérarchique des scènes audio (atomes rassemblés en objets qui sont des instances de classes comme «La4 de piano», elle-même un exemple de «Note de piano»), et la redondance présente à tous les niveaux de cette hiérarchie. Cette redondance nous permet d'identifier des motifs récurrents sur lesquels fonder une représentation riche et robuste.

À cette nouvelle approche de la représentation de scènes audio correspond un algorithme d'apprentissage non supervisé spécialement conçu pour traiter ces données. Le système est structuré en deux composants : le Regroupement Multi-Niveaux (RMN) opère la structuration des données, tandis que le «Superviseur» (module d'adaptation réflexive) incarne l'aspect «apprentissage» en optimisant à la volée le fonctionnement de RMN en référence à une mémoire d'exécutions passées.

L'originalité de notre proposition tient dans son détachement des approches traditionnelles à CASA, en commençant par le paradigme de représentation des scènes et objets. L'innovation est principalement présente dans les méthodes d'apprentissage non supervisé que nous allons développer, dont les applications dépassent largement le cadre de CASA.

4



LES LOGICIELS



ADMIX TOOLS

Conception et développement : équipe Espaces acoustiques et cognitifs

La suite logicielle ADMix Tools, développée dans le cadre du projet européen ORPHEUS (programme H2020, cf. p. 35), permet l'enregistrement (ADMix Recorder) et la reproduction (ADMix Renderer) de contenus en format objet.

Le format objet retenu suit le standard ADM (Audio Definition Model) défini par les instances de normalisation internationales (EBU et ITU). Les contenus ADM prennent la forme de fichiers audio au format .wav (BW64) dont un segment contient les métadonnées structurées et encodées au format <axml>. L'association des pistes audio et des objets référencés dans la section de métadonnées est définie dans un segment de type <chna>.

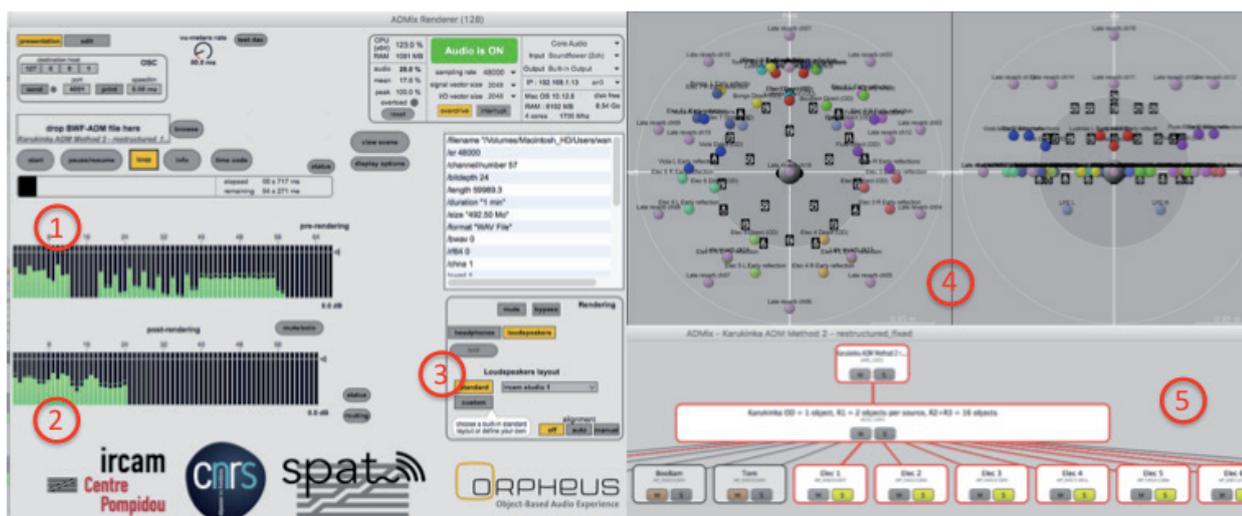
Les éléments constitutifs du fichier peuvent être de différents types, « DirectSpeakers », « HOA », « binaural », « Matrix » ou « Objets ». Les éléments de type « DirectSpeakers » permettent de véhiculer une ambiance ou un premix multicanal et sont définis par leur standard (stéréo, 5.1, etc.). Les éléments de type « HOA » sont définis par leur ordre. Les éléments de type « Objets », sont les plus génériques et sont définis par la position spatiale et le gain de leurs différentes pistes constitutives. Ces positions et gains peuvent varier au cours du temps.

Un fichier ADM peut également contenir plusieurs « programmes » qui exploitent chacun tout ou partie des pistes audio et sont associés à différents jeux de métadonnées. Cette fonctionnalité peut être utilisée pour transmettre un contenu en différentes langues, où seuls les dialogues de la langue sélectionnée seront diffusés tandis que les composantes musicales et sons d'ambiances seront partagés par tous les programmes. Une autre application de ces contenus multiprogrammes peut consister à transmettre une même scène sonore, mixée et restituée selon différents points d'écoute.

En pratique, le module d'enregistrement (ADMix Recorder) s'interface avec toute station de travail audio-numérique et permet de traduire et enregistrer les métadonnées ADM sous forme d'automation en ayant recours au protocole de communication OSC. Le module de reproduction (ADMix Renderer) est basé sur la bibliothèque du Spat~ et permet ainsi de décoder les contenus sur tout type de système de restitution 2D ou 3D, en particulier le binaural sur casque, VBAP et HOA sur une distribution 2D ou 3D de haut-parleurs.

Configuration

La suite logicielle ADMix Tools, téléchargeable depuis le site du Forum Ircam, est disponible pour les environnements Mac OSX, Windows.



- Fenêtre principale de l'application ADMix Renderer.
- 1) Vu-mètres correspondant aux différents objets constitutifs du fichier audio;
 - 2) Vu-mètres des différents canaux de sortie créés en fonction du mode de rendu;
 - 3) Choix du dispositif de rendu (binaural sur casque ou configurations standard ou ad hoc de haut-parleurs);
 - 4) Visualisation des positions instantanées des différents objets;
 - 5) Graphe de la scène sonore et activation des objets (mute/solo).

ANTESCOFO

<http://support.ircam.fr/docs/Antescofo/manuals>

Conception et développement : équipe Représentations musicales, Projet MuTant

Antescofo est un système de suivi de partition modulaire et un langage de programmation synchrone pour la composition musicale. Le module effectue une reconnaissance automatique en temps réel de l'interprétation - position dans la partition et tempo - permettant ainsi de synchroniser une performance instrumentale avec celle d'une partition virtuelle informatique. Antescofo réunit la description des parties instrumentales et électroniques dans la même partition, grâce à un langage synchrone conçu pour la pratique de musique mixte, visant à augmenter l'expressivité de l'écriture des processus temps réel, sous une forme adaptée au langage musical. Après le chargement de la partition, Antescofo est capable de suivre la position et le tempo des musiciens en temps réel et de synchroniser les actions programmées pour la partie d'informatique musicale (déclenchement et contrôle de la partie électronique). Antescofo prend comme entrée un flux d'audio polyphonique. Antescofo est aussi utilisé comme séquenceur programmable pour le contrôle en temps réel de processus de synthèse sonore et de spatialisation complexes.

Applications

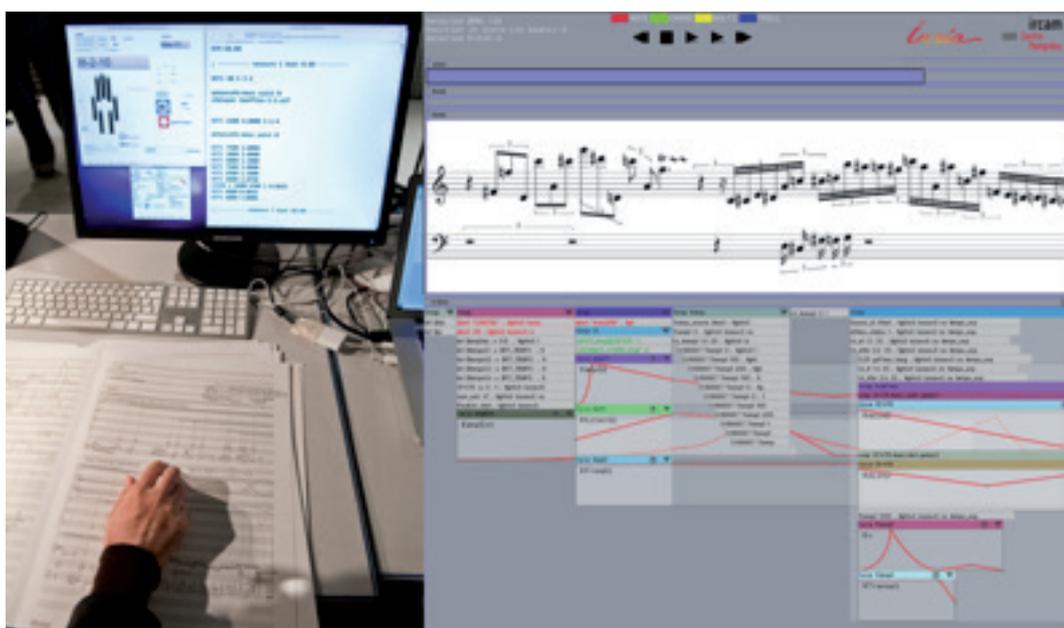
Œuvres musicales interactives, accompagnement automatique, mapping geste/synthèse sonore, contrôle de la spatialisation, pédagogie musicale.

Fonctions principales

- Reconnaissance temps réel de la position et tempo des flux audio polyphoniques sur une partition ;
- Écriture des processus électroniques en temps relatif, absolu et rationnel ;
- Gestion du temps événementiel et chronométrique (durée continue) ;
- Séquencement interactif des partitions multimédia ;
- Traduction de partitions MIDI ou MusicXML ;
- Communication OSC, entrée/sortie au format JSON.

Configuration

Antescofo est une bibliothèque d'objets pour l'environnement Max (Ircam/Cycling'74) sous systèmes d'exploitation Mac OS X ou Windows XP. Antescofo est également disponible comme objet pour PureData sous Mac OS X, Windows et Linux.



AUDIOSCULPT

Conception et développement : équipe Analyse et synthèse des sons

AudioSculpt permet de « sculpter » littéralement un son de manière visuelle. Après une phase d'analyse, le son s'affiche sous la forme d'un sonagramme, et l'utilisateur peut dessiner les modifications qu'il veut lui appliquer. Les traitements principaux sont le filtrage, la synthèse croisée, la transposition, la dilatation et la compression temporelle, le débruitage. Plusieurs types d'analyses montrent le contenu spectral d'un son, et l'utilisateur peut ensuite modifier le son par plusieurs méthodes: dessiner des filtres, déplacer des régions du sonagramme en temps et fréquence, ou appliquer une des nombreuses transformations de haute qualité.

Applications

Composition, design sonore, postproduction, cinéma, multi-média, acoustique, enseignement, analyse musicale, ethnomusicologie.

Fonctions principales

- Affichage/édition: zoom interactif sur le signal temporel jusqu'au niveau de l'échantillon, sonagramme linéaire et logarithmique;
- Analyse: LPC, True Envelope, fréquence fondamentale, suivi des partiels, estimation de voisement, formants, estimation de position des temps, descripteurs audio, outils pour l'écoute de certaines parties du spectre avec affichage harmonique;
- Annotation: texte, zones et notes MIDI peuvent être placées sur le sonagramme;
- Traitement sonore: séquenceur de traitement permettant de grouper des pistes de différents traitements et d'écouter leurs effets en temps réel avant de générer le résultat;
- Filtrage: des filtres très précis sont dessinés directement sur le sonagramme, générés par des analyses spectrales ou définis par un fichier image. Fonction spéciale pour la séparation manuelle des sources sonores;
- Compression/expansion: modification de la longueur du son sans changer sa hauteur ou son timbre et en préservant la qualité des attaques et transitoires;
- Transposition: à l'aide d'un éditeur spécifique, l'utilisateur peut transposer le son sans modifier sa longueur, en préservant les caractéristiques spectrales (par exemple le timbre de la voix);
- Débruitage: soustraction spectrale avec interpolation des estimations de bruit;
- Synthèse croisée: application des caractéristiques spectrales d'un son sur un autre afin de créer un hybride sonore ou une transition d'un son à l'autre;

- Synthèse des partiels: création d'un nouveau son à partir des partiels trouvés par une des analyses et mixage avec le résiduel;
- Collage: des régions sonores définies sur le plan temps fréquence peuvent être copiées et collées;
- Écoute: les transformations peuvent être écoutées en temps réel. Le mode scrub permet de naviguer dans le son à vitesse quelconque;
- Courbes Bpf: l'utilisateur peut dessiner directement des courbes sur le sonagramme ou la forme d'onde afin de piloter des traitements.

Caractéristiques techniques et configuration

AudioSculpt fonctionne en tandem avec l'outil d'analyse et synthèse SuperVP pour la plupart des analyses et modifications de son. Pour l'analyse et synthèse sinusoïdale, AudioSculpt utilise l'outil Pm2. Dans AudioSculpt, on peut inspecter des commandes issues de SuperVP/Pm2, les modifier et contrôler SuperVP/ Pm2 par ligne de commande. AudioSculpt accepte des sons multipistes et de haute qualité (jusqu'à 32-bits intégrés ou flottants/192 kHz) et utilise le format SDIF pour les analyses, qui sont échangeables avec les autres logiciels.

Configuration

Macintosh sous Mac OS X 10.5 ou supérieur. Formats de fichiers audio: AIFF/AIFC, Wav et Sound Designer II et plus.



CATART

Conception et développement : équipe Interaction son musique mouvement

La synthèse concaténative par corpus utilise une base de données de sons enregistrés, et un algorithme de sélection d'unités qui permet de choisir les segments de la base de données, afin de synthétiser par concaténation une séquence musicale. La sélection est fondée sur les caractéristiques de l'enregistrement, qui sont obtenues par analyse du signal et correspondent par exemple à la hauteur, à l'énergie ou au spectre.

La mise en œuvre en temps réel de cette nouvelle approche de la synthèse sonore par le système CataRT permet une exploration interactive et en temps réel d'une base sonore et une composition granulaire ciblée par des caractéristiques sonores précises. Cela permet aux compositeurs et musiciens d'atteindre de nouvelles sonorités, et aux designers sonores de rapidement explorer un corpus sonore constitué par un grand nombre d'enregistrements.

CataRT existe en application standalone ou en système modulaire implémenté dans Max avec les extensions MuBu. L'interaction repose sur une interface simple consistant en l'affichage d'une projection 2D de l'espace de descripteurs, et une navigation où les grains sont sélectionnés et joués par proximité géométrique. Cette navigation peut être contrôlée avec la souris, avec des contrôleurs externes (pads multi-touch, joysticks, cameras), ou avec l'analyse d'un signal audio.

Applications

Œuvres musicales et multimédia interactives, sound design, nouveaux instruments, recherche dans les bases de données sonores.

Fonctions principales

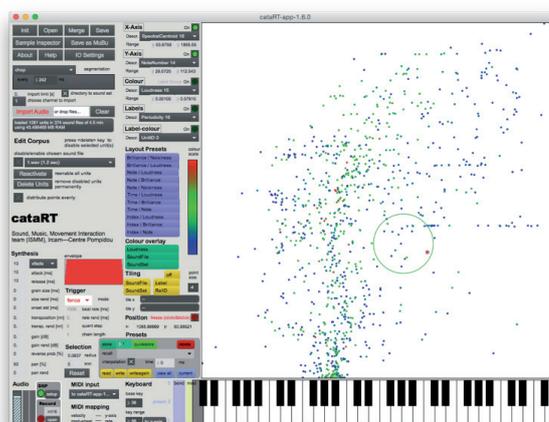
- Importation audio avec segmentation et analyse automatique;
- Analyse, visualisation, et jeu interactif avec des sons;
- Exportation des données d'analyse;
- Composition par navigation interactive dans un espace de descripteurs sonores;
- Brassages et juxtapositions d'un nombre massif de sons;
- Traitements granulaires flexibles;
- Communication avec séquenceurs MIDI;
- Recherche interactive efficace d'événements ou singularités dans des nombreux et longs enregistrements, séparation de bruits parasites.

Configuration

- Version application: Mac OS 10.6 ou supérieur. Universal binary, compatible Mac Intel;
- Version modulaire: Mac OS 10.10 ou supérieur ou PC Windows avec Max et package MuBu.

Formats de fichiers audio

- jusqu'à 32-bit/192 kHz entier et flottant : AIFF, AIFC, WAV, FLAC, AAC, MP3;
- fichiers SDIF pour l'importation de marqueurs de segmentation d'AudioSculpt;
- fichiers MIDI pour l'importation de segmentation et annotation de pitch.
- fichiers Text pour l'importation de segmentation et annotation de labels, par exemple de Audacity



IRCAMLAB TS

Conception et développement : équipe analyse et synthèse des sons

TS est un logiciel indépendant de transformation et de dilatation temporelle à partir de SuperVP et qui reprend des éléments d'interface d'AudioSculpt 3.

Applications

Composition, design sonore, postproduction, enseignement.

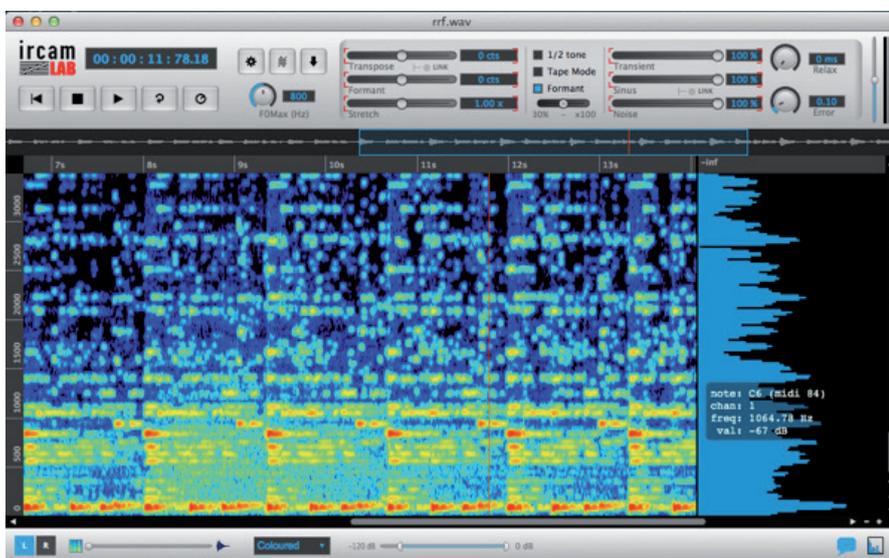
Fonctions principales

- Visualisation :
Affichage du sonogramme, spectre et de la forme d'onde. Zoom interactif sur le signal temporel jusqu'au niveau de l'échantillon, sonogramme linéaire et logarithmique. Analyse FFT, LPC, True Envelope.

- Compression/expansion :
Modification de la longueur du son sans changer sa hauteur ou son timbre et en préservant la qualité des attaques et transitoires. Préréglages définis pour différents modes de transposition avec la possibilité d'ajuster plus finement la FO max et l'enveloppe spectrale.
- Fonction Remix :
Remixage des transitoires, sinusoïdes et de la partie bruitée du signal.
- Contrôle :
Lecture audio avec contrôles standard. Mode d'enregistrement des résultats en différé ou en temps réel avec modification des paramètres. Pilotage et automation via contrôleur MIDI possible.

Configuration

- Macintosh sous Mac OSX 10.6 ou supérieur.
- Formats de fichiers audio : AIFF/AIFC, Wav (et autres formats permis par la bibliothèque libsndfile).



MAX

Le standard mondial pour l'interactivité sonore temps réel

Max (anciennement Max/MSP) est un environnement visuel pour la programmation d'applications interactives temps réel. C'est actuellement la référence mondiale pour la création d'installations sonores interactives. Max est la combinaison du logiciel Max (Ircam/Cycling'74) pour le contrôle temps réel d'applications musicales et multimédia interactives par MIDI, de MSP, une bibliothèque d'objets pour l'analyse, la synthèse et le traitement du signal audio en temps réel et de Jitter qui est un ensemble d'objets vidéo, matriciels et graphiques 3D pour l'environnement. Max est conçu pour les musiciens, les designers sonores, les enseignants et les chercheurs qui souhaitent développer des programmes interactifs temps réel. Max est développé et édité par la société Cycling'74 (États-Unis) sous licence exclusive de l'Ircam.

Composition

Génération de structures musicales au moyen de modèles mathématiques et aléatoires.

Accompagnement Live

Production d'œuvres mixtes où la partie électronique réagit au jeu de l'instrumentiste (par captation du jeu instrumental par microphone ou par MIDI) ou bien par modification directe du son de l'instrument. Max se comporte comme un séquenceur en contrôlant la diffusion de sons ou de fichiers audio dans le temps. Le contrôle dynamique de programmes complexes pilotant de la musique, de la vidéo ou des effets de lumière est aussi possible.

Postproduction audio et pilotage de périphériques

Contrôle possible de périphériques extérieurs tels que tables de mixage, systèmes « direct-to-disk », synthétiseurs, etc.

Traitement vidéo temps réel

Une bibliothèque d'objets pour le traitement vidéo (Jitter) est incluse avec le logiciel. Elle permet un contrôle de très bas niveau et la programmation de nombreuses applications.

Enseignement

Max est un outil pédagogique largement répandu dans les universités, les écoles de musique et les conservatoires. La documentation intégrée directement dans le logiciel comprend de nombreux tutoriels interactifs pour la compréhension du signal audio, du système MIDI ou encore de la vidéo.

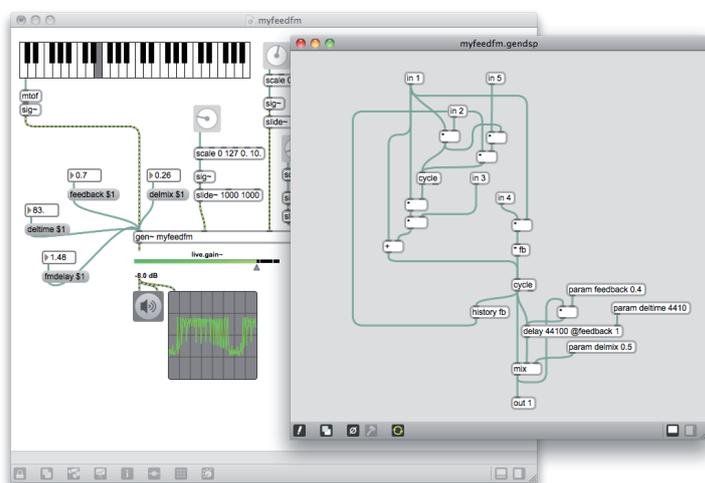
Recherche

Max est utilisé en recherche pour prototyper des algorithmes de synthèse ou de traitement du signal en temps réel. De nouveaux objets externes peuvent être programmés en langage JavaScript, Java et C.

Caractéristiques techniques

Plusieurs centaines d'objets pour la synthèse, le contrôle, le traitement, l'échantillonnage ou l'analyse. Le moteur audio offre le support du multiprocessing, du calcul en 64 bits et apporte de nombreuses améliorations du rendu sonore.

Max intègre un système de génération de code et compilation à la volée à partir de patches, permettant la création rapide de nouveaux traitements performant directement dans l'environnement Max.



MODALYS

Conception et développement : équipe Acoustique instrumentale

Modalys est un environnement de lutherie virtuelle permettant de créer des instruments à partir d'objets physiques « simples » tels que cordes, plaques, tubes, membranes, plectres, archets ou marteaux, et de les faire interagir.

Il est également possible de construire des objets aux formes plus complexes par maillage 3D ou par le résultat de mesures réelles; Modalys se charge alors de leur donner vie et de calculer leurs vibrations sonores en situation de jeu.

En combinant ces différents objets physiques résonnants et en spécifiant le type d'interaction (frappe, frottement, embouchure, anche, etc.), l'utilisateur construit ses propres instruments et choisit le type de jeu et de contrôle. En outre, Max et OpenMusic offrent un dialogue direct avec le moteur de synthèse Modalys via des interfaces graphiques intuitives.

Domaines d'application

- Composition musicale: musique contemporaine, techno, électro, etc.;
- Design sonore: travail naturel sur la qualité sonore (métallique, boisé, etc.);
- Pédagogie: la théorie modale en pratique;
- Cinéma & vidéo: habillage sonore;
- Recherche & développement scientifiques: comparaison des modes déterminés théoriquement et mesurés.

Fonctions principales

Au cœur de Modalys réside un moteur de synthèse permettant de créer et de faire sonner des instruments virtuels à partir d'objets physiques simples ou créés à partir de mesures ou même à partir de maillage 3D. L'utilisateur construit ainsi un instrument et décide ensuite de la manière dont il va en jouer. Pour ce faire, l'utilisateur passe par les étapes suivantes:

- Choix des objets physiques qui vont constituer l'instrument (exemples: tube, corde, membrane, plaque, plectre, archet, marteau, etc.). Ces objets sont simulés avec des paramètres par défaut que l'utilisateur peut modifier;
- Choix des « accès » aux objets, positions où ces derniers seront mis en interaction;
- Mise en place des « connexions » correspondant aux modes de jeu tels que frapper, souffler, frotter, etc.;
- Choix des contrôleurs permettant de modifier en temps réel les paramètres d'un mode de jeu.

Utilisation

Choisi par de nombreux compositeurs et designers sonores, Modalys for Max est l'incarnation de Modalys dans l'environnement temps réel Max, utilisé pour construire graphiquement des instruments sophistiqués à partir de cordes, plaques, membranes, tubes avec accès à tous types de matériaux (métal, bois, diamant, etc.), taille (illimitée) et interactions: frappe, pincement, frottement, souffle etc. Cette interface permet le contrôle direct de Modalys en temps réel. Modalys for Max nécessite Max 5 ou supérieur (7 inclus), et est disponible pour Mac OS X (à partir de 10.6) et Windows (7 ou plus récent).



Alternativement, Modalys peut être mis en œuvre à partir de ModaLisp, un environnement textuel de programmation, et peut donc être utilisé pour définir les modèles physiques de l'instrument et le faire jouer avec une approche de type script. Dans cette approche, l'utilisateur écrit et exécute des programmes Lisp pour obtenir le résultat musical escompté. Également, le logiciel de programmation musicale de l'Ircam OpenMusic, lui-même basé sur Lisp, permet de contrôler les modèles de Modalys d'une façon à la fois musicale et graphique (contrôle par une partition ou par des éditeurs de courbes).

Enfin, pour une approche scientifique de la synthèse modale, Modalys s'interface aisément avec MatLab grâce à des bibliothèques dédiées.

Configuration

Macintosh sous Mac OS X 10.6 minimum, ou Windows 7 ou supérieur (Modalys for Max uniquement).

MUBU POUR MAX

Conception et développement : équipe Interaction son musique mouvement

MuBu (pour « Multi-buffer ») est un ensemble de modules pour le traitement du signal temps réel multimodal (audio et mouvement), l'apprentissage automatique, et la synthèse sonore par descripteurs. Le conteneur multimodal MuBu permet de stocker, d'éditer et de visualiser des pistes temporelles synchronisées de divers types: audio, descripteurs sonores, données de captation gestuelle, marqueurs de segmentation, partitions MIDI. Des représentations musicales symboliques simplifiées des paramètres de contrôle de synthèse et de la spatialisation peuvent être également intégrés.

MuBu intègre des modules pour l'apprentissage automatique interactif, pour effectuer de la reconnaissance de formes sonores ou gestuelles. MuBu intègre également un format de plug-in pour le traitement du signal, PiPo (Plugin Interface for Processing Objects).

Le développement des modules MuBu et PiPo repose sur l'expérience acquise lors des développements de la bibliothèque FTM & Co ainsi que sur des développements des composants logiciels dans le cadre des projets de recherche (bibliothèques MuBu, ZsaZsa et RTA).

Applications

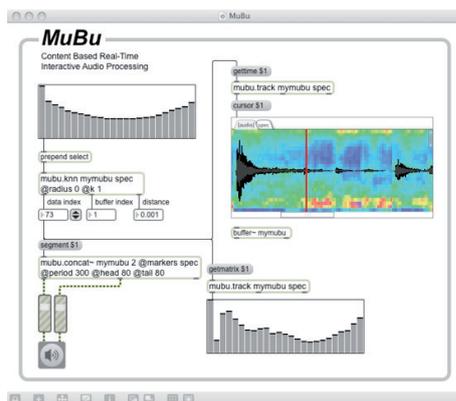
Œuvres musicales et multimédia interactives, synthèse sonore interactive, musique, danse.

Fonctions principales

- Multi-buffer avec interface graphique;
- Enregistrement de flux de données et séquence;
- Traitement de flux de données et de données stockées; dans le multibuffer;
- Sélection d'unité par k-NN;
- Synthèse concaténative, granulaire et PSOLA;
- Synthèse additive.

Configuration

Logiciel Max, MacOSX, Windows



OMAX

Conception et développement : équipe Représentations musicales

OMax est un environnement pour l'improvisation avec ordinateur qui analyse, modélise et réimprovise en temps réel le jeu d'un ou de plusieurs instrumentistes, en audio ou en MIDI. OMax est basé sur une représentation informatique nommée « Oracle des facteurs », un graphe qui interconnecte tous les motifs des plus petits aux plus grands et fournit donc une carte de navigation dans la logique motivique apprise de l'instrumentiste, engendrant ainsi un grand nombre de variations cohérentes stylistiquement. OMax base sa reconnaissance soit sur des notes (suivi de hauteurs), soit sur des timbres (suivi spectral). OMax 4 est une version entièrement nouvelle réécrite en C et en Max.

Applications

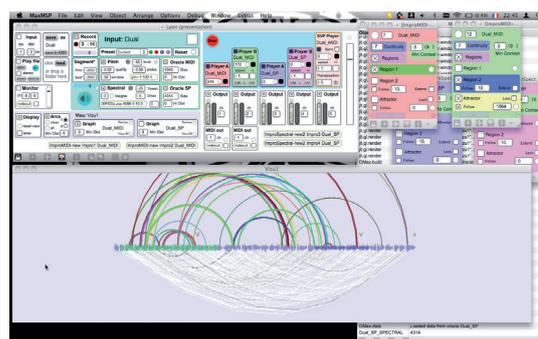
Improvisation avec ordinateur, œuvres musicales interactives, accompagnement automatique.

Fonctions principales

- Écoute artificielle: extraction de descripteurs FO, MFCC, entrée MIDI, segmentation automatique, apprentissage adaptatif de l'alphabet symbolique des unités musicales;
- Modélisation: construction incrémentale du modèle de connaissances représentant la carte exhaustive des motifs musicaux selon diverses fonctions de similarité;
- Visualisation temps réel interactive du modèle de connaissance, fonctions de sélections multiples et de focalisation sur la représentation visuelle;
- Génération de séquences selon une heuristique de navigation à travers le modèle prenant en compte ses caractéristiques formelles et des critères musicaux de continuité motivique, rythmique et énergétique;
- Architecture modulaire permettant d'allouer des agents improvisateurs, des agents joueurs (players) et de les interconnecter librement (e.g. plusieurs joueurs connectés sur un même improvisateur peuvent créer par exemple un canon avec augmentation rythmique).

Configuration

Max 5 et plus avec Jitter, Mac OSX, 10.5 et plus, avec archi-
vage au format JSON.



OPENMUSIC

Conception et développement : équipe Représentations musicales

OpenMusic (OM) est un environnement de programmation visuelle dédié à la composition et à l'analyse musicale assistées par ordinateur. OpenMusic offre à l'utilisateur la possibilité de programmer graphiquement des procédures de traitement ou génération de données musicales à l'aide de nombreux modules graphiques et fonctions prédéfinies, assemblées en programmes visuels. Les programmes peuvent ensuite s'intégrer les uns dans les autres pour constituer des processus complexes produisant des structures de plus en plus élaborées. OpenMusic est aujourd'hui utilisé par un grand nombre de compositeurs et de musicologues. Il est enseigné dans les principaux centres d'informatique musicale ainsi que dans plusieurs universités en Europe et dans le monde.

Fonctions principales

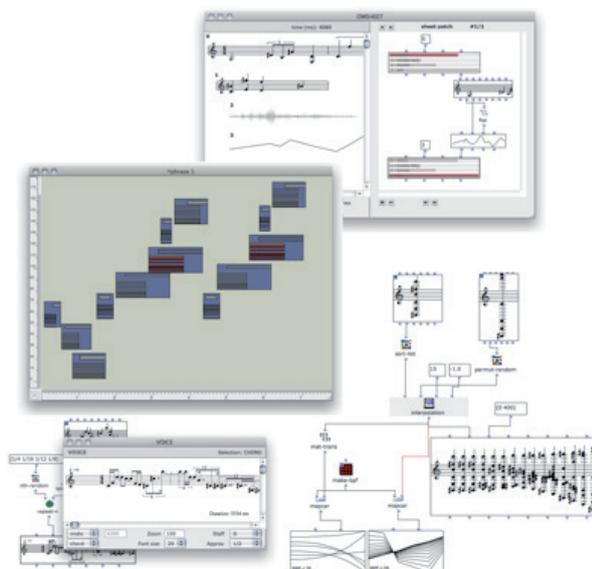
- Construction graphique de programmes fonctionnels (méthodes d'abstraction/ application, fonctions d'ordre supérieures, structures conditionnelles, itérations...);
- Fonctions de haut niveau pour la création et la transformation des structures musicales (hauteurs, rythmes, etc.);
- Manipulation algorithmique des données aux formats MIDI, audio, SDIF, Communication OSC;
- Éditeurs graphiques : partitions en notation musicale traditionnelle et proportionnelle (avec import et export vers les principaux formats d'échanges), courbes 2D/3D et « breakpoint functions ».
- Outils mathématiques pour l'analyse et la composition;
- « Maquettes » : éditeur graphique permettant de créer des formes temporelles et hiérarchiques aux programmes visuels.

Bibliothèques spécialisées

LZ: analyse statistique et génération d'improvisations musicales; Esquisse: fonctions spectrales; OMRC: programmation de contraintes rythmiques; OMCS: programmation par contrainte généralisée; Repmus: fonctions de l'équipe Représentations musicales; Profile: manipulation de profils harmoniques et de contours; Morphologie: analyse de séquences de nombres et de symboles; OMChaos: utilisation des fonctions fractales; OMAlea: fonctions aléatoires; OM2Csound: synthèse sonore / génération de partitions et d'instruments Csound; OM-SuperVP: outils pour l'analyse, le traitement et la synthèse sonore avec SuperVP, OM-Pm2: analyse/synthèse additive avec Pm2; OM-Diph: création de dictionnaires et de scripts pour le synthétiseur Diphone, OM-Chant: contrôle du synthétiseur Chant; OM-Spat: spatialisation de sources sonores avec Spat; OMChroma: structures de contrôle de haut niveau pour la synthèse sonore...

Caractéristiques techniques et configuration

Programmation basée sur le langage Common Lisp / LispWorks (<http://www.lispworks.com/>)
Compatible MacOSX, Windows et Linux.
Distribution open source - Licence LGPL
Collaboration BEK (Bergen Center for Electronic Arts, Norvège) [version OM Linux]



ORCHIDS

Conception et développement : équipe Représentations musicales

Orchids est le premier système complet pour l'orchestration temporelle assistée par ordinateur et l'optimisation de mélanges de timbres. Il fournit un ensemble d'algorithmes permettant de reconstruire n'importe quelle cible sonore évoluant dans le temps par une combinaison d'instruments ou échantillons, selon un ensemble de critères psychoacoustiques. Il peut aider les compositeurs à obtenir des couleurs de timbre inouïes en fournissant une multitude de solutions efficaces qui recréent au mieux cette cible sonore. Grâce à un ensemble étendu de fonctionnalités, Orchids peut également reproduire des évolutions et formes abstraites de mouvements spectraux. Ses résultats fournissent des partitions d'orchestre multiples pouvant être organisées de manière intuitive afin d'obtenir rapidement une réalisation d'idées orchestrales et musicales. Ce système fournit plusieurs algorithmes d'approximation permettant d'optimiser conjointement plusieurs propriétés de timbre. Les avantages du système Orchids résident dans le fait que cette approximation peut être faite séparément sur des formes temporelles, valeurs moyennes ou écarts types (ou toute combinaison des trois) de chaque descripteur psychoacoustique. En outre, les utilisateurs peuvent également définir une déformation temporelle manuelle, et même effectuer une recherche multicible à l'intérieur de multiples segments sonores, offrant ainsi des réalisations de pièces orchestrales complètes en quelques secondes. Le nouveau système est livré avec une vaste base de données des possibilités orchestrales, mais peut également être étendu de manière illimitée, y compris avec des sons de synthèse, en glissant simplement sa propre banque de sons. Enfin, le logiciel fournit un système de recherche de série temporelle intelligente qui permet de faciliter la recherche de formes temporelles à l'intérieur de la base de données.

Application

Composition orchestrale, réorchestration, écriture du timbre, pédagogie musicale.

Fonctions principales

- Génération de mélanges et combinaisons orchestrales inouïes par optimisation d'une cible ;
- Possibilité d'écriture du timbre par mélanges orchestraux et optimisation de l'évolution temporelle ;
- Définition de cibles abstraites et d'évolutions temporelles de descripteurs spectraux ;
- Interface simple permettant la spatialisation de l'orchestre ainsi que le travail efficace d'une maquette d'œuvre orchestrale ;
- Extension facile de la base de connaissances et recherches temporelles efficaces ;
- Interaction et exports vers de multiples systèmes de notation musicale ;

Configuration

Orchids est un logiciel standalone marchant sous toutes les versions du système d'exploitation Mac OSX. Orchids est également disponible sous forme de patches Max et de serveur C++.



PANORAMIX

Conception et développement :
équipe Espaces acoustiques et cognitifs

Panoramix est une station de travail pour la postproduction de contenus audio 3D. L'outil propose un environnement cohérent permettant de mixer, réverbérer et spatialiser des matériaux sonores provenant de divers dispositifs microphoniques: arbre principal, appoints, captation Ambisonic aux ordres supérieurs. Plusieurs techniques de spatialisation 3D (VBAP, HOA, binaural) peuvent être combinées, et les mixages peuvent être rendus simultanément dans différents formats. Le logiciel présente également les caractéristiques des mixeurs traditionnels (modules d'égalisation et compression dynamique, gestion groupée de paramètres, routage des signaux d'entrée/sortie, etc.), et il est entièrement contrôlable via le protocole Open Sound Control.

Architecture

À l'instar d'une console traditionnelle, Panoramix se présente sous forme de tranches. Les tranches sont classées en deux catégories principales: tranches d'entrée (ou « tracks ») et bus.

Les tranches d'entrée correspondent aux signaux sources issus de la prise de son. Plusieurs formats de tranches d'entrée sont supportés: « Mono » (typiquement un appoint microphonique ou une piste d'électronique devant être spatialisée), « Multi » (une tranche « Multi » est essentiellement une collection de plusieurs tranches mono), « SMA » (employée pour traiter un enregistrement provenant d'un microphone sphérique de type EigenMike), ou « Tree » (sert à traiter un arbre microphonique principal).

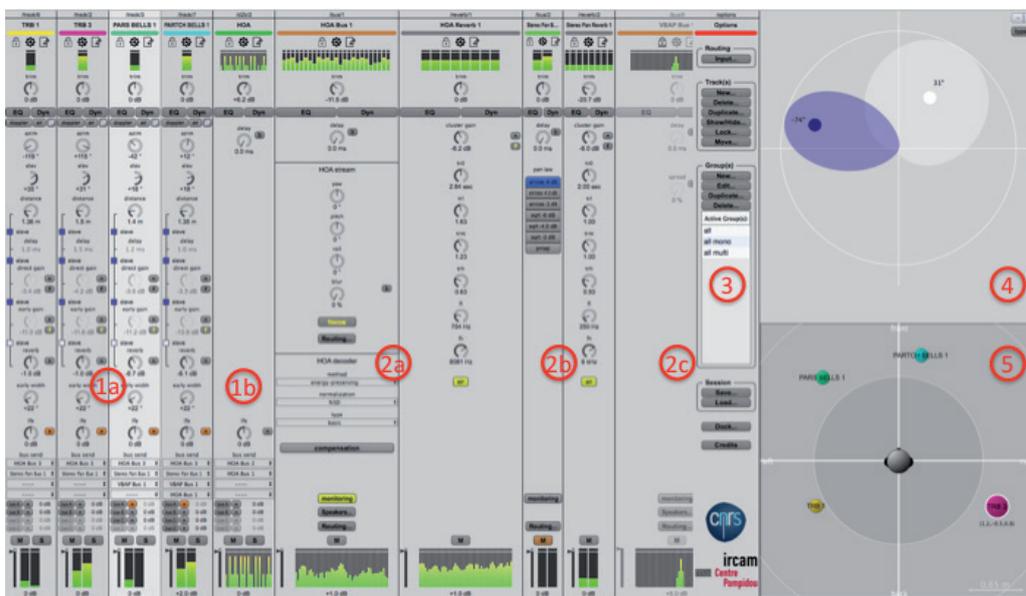
Trois types de bus sont présents: des bus de panning, des bus de réverbération et un bus « LFE » (« low frequency enhancement »). Les bus de panning jouent le rôle de point de sommation des signaux provenant des tranches d'entrée, régissent la technique de spatialisation (VBAP, HOA, binaural) et réalisent l'encodage/décodage des signaux selon le dispositif de restitution. Les bus de réverbération génèrent et contrôlent les sections tardives/diffuses du réverbérateur artificiel. Dans la version actuelle, un réseau de retards rebouclés est employé.

Enfin, la tranche « Master » permet de collecter les signaux de sortie de tous les bus et de les adresser aux sorties physiques de Panoramix. Bien que la session ne comporte qu'une unique tranche Master, il est possible de produire simultanément des mixages dans plusieurs formats.

Configuration

Panoramix est téléchargeable depuis le site du Forum Ircam et disponible pour les environnements Mac OSX, Windows et Linux.

Fenêtre principale de la station Panoramix.
1a) Tranches d'entrée mono; 1b) Tranche d'entrée HOA;
2a) Bus de panning et de réverbération HOA; 2b) Bus stéréo;
2c) Bus VBAP; 3) Options de session (gestion des groupes, import/export de presets, etc.); 4) Module de formation de voies (focus) en HOA; 5) Interface géométrique de positionnement.



SPAT~

Conception et développement : équipe Espaces acoustiques et cognitifs

Spat~, le Spatialisateur de l'Ircam, est un logiciel dédié à la spatialisation du son en temps réel. Conçu sous forme d'une bibliothèque, il permet au musicien ou à l'ingénieur du son de contrôler la spatialisation du son pour divers systèmes de restitution. Les applications s'étendent de la reproduction en contexte domestique (casque d'écoute, système stéréophonique ou 5.1) aux situations de concert (distributions 2D ou 3D de haut-parleurs) ou aux installations sonores holophoniques et interactives.

Fonctions principales

- Concerts et spatialisation du son en temps réel
Le compositeur peut associer à chaque événement sonore de la partition un effet de salle ou une donnée de localisation dans l'espace. Le Spat~ peut être contrôlé à partir d'un séquenceur d'un système de suivi de partition, ou à partir de processus de contrôle de haut niveau dédiés à l'écriture musicale (Listen-Space, OpenMusic...).
- Postproduction sonore
On peut connecter un Spatialisateur à chaque canal d'une table de mixage ou d'un environnement de mixage logiciel pour disposer d'un contrôle intuitif et global des positions de chaque source et de leur effet de salle associé.
- Simulation et réalité virtuelle
Sur casque, l'effet d'immersion obtenu avec le Spat~ repose sur l'utilisation de techniques binaurales, d'autant plus convaincantes si le système est associé à un dispositif de suivi de la position ou de l'orientation de la tête. Les sources sonores gardent ainsi leurs positions spatiales en fonction des commandes de navigation de l'utilisateur.
- Restitution holophonique
Le Spatialisateur a été adapté pour le mode de restitution holophonique (WFS) qui permet de reconstruire un champ sonore préservant les qualités de restitution spatiale pour un auditoire étendu. Pour les installations sonores interactives ce mode de restitution permet de retrouver les sensations spatiales naturelles au cours de l'exploration de la scène sonore.

Caractéristiques techniques et configuration

- Contrôles perceptifs
Azimut et élévation, distance, présence de la source, présence de la salle, réverbérance précoce et tardive, enveloppement, balances fréquentielles.
- Contrôles DSP de bas niveau
Égalisation, effet Doppler, absorption de l'air, réverbération multicanal, direction de la source en fonction du dispositif de diffusion (binaural, transaural, stéréo, stéréo 3/2, multicanal 4 à 8 HP, VBAP pour un agencement tridimensionnel des haut-parleurs, Ambisonics et High Order Ambisonics, Wave Field Synthesis).

Configuration

Le Spat~ est une bibliothèque d'objets pour les environnements Max (Ircam/Opcode/Cycling'74) sous logiciel d'exploitation Mac OSX ou Windows XP. Le Spat~ est également disponible sous forme d'un ensemble de plugins développés en collaboration avec la société Flux:: et insérables dans les principaux logiciels d'édition ou séquenceurs musicaux (Protools, Logicaudio, Digital Performer, etc.).

Technologies et partenaires

France Télécom, Cycling'74, Flux::



SUIVI DE GESTE ET DE FORMES TEMPORELLES

http://imtr.ircam.fr/imtr/Gesture_Follower

Conception et développement : équipe Interaction son musique mouvement

Plusieurs objets Max sont disponibles pour effectuer le suivi de morphologies temporelles à partir de modèles de Markov. L'objet `voicefollower~` indique en temps réel la progression temporelle d'une interprétation, en comparaison avec un enregistrement audio. Cela permet par exemple de synchroniser divers processus sonores ou visuels avec un texte préenregistré. Il a été expérimenté avec succès pour le théâtre avec de la voix parlée ou pour des performances avec de la voix chantée.

L'objet `motionfollower~` est similaire au `voice follower~` (utilisant une interface proche) mais fonctionne avec des paramètres gestuels, comme ceux issus de capteurs. Il permet par exemple d'effectuer un suivi, dans le cas d'instruments augmentés ou de batterie, effectué avec un capteur de mouvement.

L'objet `gf` (pour `gesture follower`), intégré dans les modules MuBu, permet des utilisations plus générales de suivi et reconnaissance de formes temporelles sur la base d'exemples enregistrés.

Applications

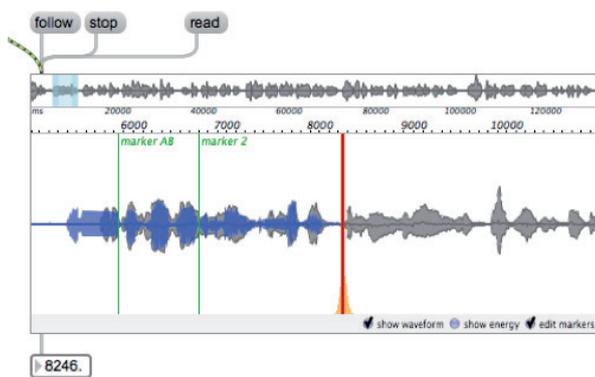
Œuvres musicales et multimédia interactives, musique, danse, contrôle gestuel de la synthèse sonore.

Fonctions principales

- Synchronisation entre gestes et médias numériques;
- Reconnaissance de gestes en continu;
- Mesures de similarité entre morphologies temporelles continues.

Configuration

Logiciel Max, MacOSX, Windows



Voice follower~ dans le logiciel Max

SUPERVP, TRAX ET BIBLIOTHÈQUES

Conception et développement : équipe Analyse et synthèse des sons

SuperVP est une bibliothèque de traitement de signal reposant sur un vocodeur de phase perfectionné. Elle permet un grand nombre de transformations du signal avec une très grande qualité sonore (étirement temporel, transposition de la fréquence fondamentale et de l'enveloppe spectrale, débruitage, re-mixage des composantes sinusoïdales, bruitées et transitoires, dilatation de l'enveloppe spectrale, synthèse croisée généralisée, synthèse croisée en mode source et filtre...). Elle donne accès à un vaste jeu de paramètres qui fournissent un contrôle complet, et à grain fin, du résultat d'algorithmes différents. En plus des algorithmes de transformation sonores, la bibliothèque comprend une collection importante d'algorithmes d'analyse du signal (FO, détection des débuts de notes, spectrogramme, spectrogramme réassigné, enveloppe spectrale...).

Un des dérivés de SuperVP est la bibliothèque Voice-Forger qui regroupe une grande part des traitements temps réel de SuperVP et permet un accès de haut niveau (cf. projets: Sample Orchestrator, Vivos, Affective Avatars).

Les outils TRaX ont été conçus pour que la plupart des paramètres de la bibliothèque soient condensés en un jeu de paramètres utilisateur de haut niveau qui permettent de contrôler l'application de manière intuitive.

Fonctions principales

Transformation du signal

- Dilatation/compression: avec et sans préservation de transitoires, mode spécialisé (préservation de la forme d'onde) pour la transformation;
- Transposition: transposition indépendante de la fréquence fondamentale et de l'enveloppe spectrale, modification du taux d'échantillonnage (ré-échantillonnage);
- Débruitage: plusieurs motifs de bruit avec interpolation et traitement indépendant du bruit sinusoïdal;
- Re-mixage transitoires/sinusoïdes/bruit: détection des sinusoïdes, bruits, transitoires et contrôle de leurs mixages respectifs;
- Transformation de l'enveloppe: estimation de l'enveloppe spectrale et temporelle et contrôle de leurs mixages respectifs;
- Synthèse croisée: fondée sur le vocodeur de phase ou sur le modèle source-filtre et contrôles variés.

Analyse du signal

- Spectrogramme: FFT à court terme et réassignée;
- Enveloppe spectrale: LPC, « True Envelope »;
- FO: analyse haute précision à faible coût CPU, paramètres par défaut spécialisés pour différents instruments (exemples: violon, flûte, xylophone, vibraphone...);
- Attaques: algorithme paramétrable pour la détection des attaques de notes et autres transitoires;
- Voisé/non-voisé: fréquence de coupure voisé/non-voisé ou sinusoïdal/non-sinusoïdal.

Caractéristiques techniques et configuration

La bibliothèque peut être contrôlée en utilisant différents niveaux d'abstraction. Elle permet l'entrée/sortie du son par fichiers et par mémoire aussi bien que le contrôle des paramètres en temps réel. La bibliothèque est utilisable à partir d'une large gamme d'environnements. Une application en ligne de commande donne accès à toutes les transformations et analyses sonores disponibles. Elle est utilisée par exemple dans les applications AudioSculpt et OpenMusic. Dans Max, des objets permettent la transformation sonore et l'analyse en temps réel et l'application TRaX repose sur ces objets. La bibliothèque est programmée en C++ en utilisant des dispositifs d'optimisation avancés comme les opérations SIMD (SSE2, SSE, AltiVec) des processeurs actuels. La bibliothèque fonctionne sous les systèmes d'exploitation Mac OSX, Windows XP et Linux, sur les processeurs Intel et PowerPC. Son implémentation multithread permet d'exploiter les capacités de calcul des processeurs multi-cœurs et ordinateurs multi-processeurs.

Technologies et partenaires

MakeMusic (SmartMusic), Flux::, Univers Sons, Xtranormal, Voxler, MXP4, etc.

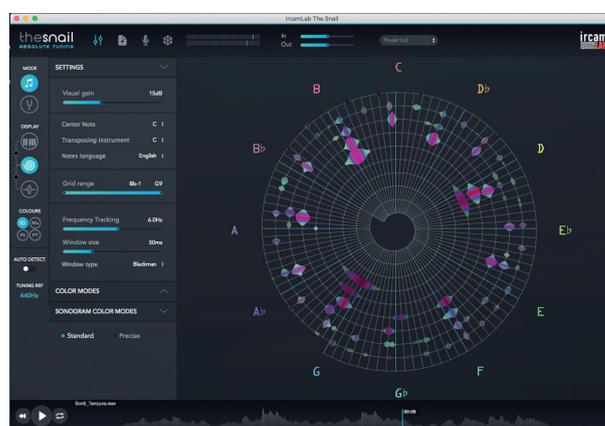


THE SNAIL-ABSOLUTE TUNING

Conception et développement : équipe Analyse et synthèse des sons

The Snail-Absolute Tuning est un analyseur fréquentiel de sons qui repose sur une représentation originale à alignement chromatique.

Comparée aux analyseurs standard, cette représentation permet de visualiser simplement les zones actives par activation lumineuse (comme sur un spectrogramme) et d'organiser la disposition des fréquences par notes sur une échelle tempérée, accordée sur un diapason.



Applications

Visualisation musicale du signal, pédagogie, accordage.

Fonctions principales

- Visualisation: Affichage de l'abaque de The Snail-Absolute Tuning (chromatique) simplifiée pour une lecture musicale du son.
- Interface: Paramétrage du moteur d'analyse. Réglages des différents modes de visualisation: phase, spectre ou snail (tuner). Réglage de la région fréquentielle visible en note MIDI. Réglage du diapason.

Configuration

Mac OS X 10.6 ou supérieur, iOS (iPad). Lecture de fichier audio (tout format supporté par la bibliothèque native de Mac OS X) ou entrée du signal via l'entrée audio de l'équipement utilisé.

TOSCA

Conception et développement : équipe Espaces acoustiques et cognitifs

TosCA est un plugin permettant de communiquer, en lecture comme en écriture, l'automatisation des paramètres d'une station de travail audio numérique vers d'autres applications, via le protocole OSC. Son application typique concerne la réalisation de mixages spatialisés orientés objet, indépendamment des contraintes des logiciels hôtes.

Fonctions principales

TosCA s'insère en tant que plugin audio dans le DAW (*Digital Audio Workstation*, environnement de montage/mixage), sur chacune des pistes à spatialiser. TosCA n'affecte aucunement le signal audio qui est simplement court-circuité ; en revanche le plugin expose un certain nombre de paramètres automatisables. Dans un souci de compatibilité avec une vaste gamme de stations audio numériques, le nombre maximal de paramètres exposés par piste est limité à 32. Lorsque ces pistes d'automatisation sont activées en lecture, TosCA envoie les données de ces pistes en OSC. De même, si les automatisations sont armées en écriture, TosCA peut recevoir des paquets OSC depuis une application distante, et inscrire ces données dans les pistes du DAW.

Chaque instance de TosCA possède un identifiant (ID) qui est réglable par l'utilisateur. Cet identifiant constitue la racine des messages OSC émis/reçus par TosCA. Leur syntaxe prend la forme suivante : « /ID/NomParamètre ValeurParamètre » par exemple : « /3/azimuth 135.0 »

Dans un souci de simplicité, les paramètres dans TosCA sont tous des nombres flottants en double précision. Les autres types de données possiblement encapsulables dans un paquet OSC (tels que nombres entiers, chaînes de caractères, etc.) ne sont actuellement pas gérés.

TosCA n'est pas lié à un moteur de spatialisation ou de synthèse en particulier; autrement dit, les paramètres d'automatisation qu'il expose sont génériques. Par défaut, ces 32 paramètres se nomment param1, param2, etc. Le libellé des paramètres peut ensuite être configuré. Ceci se fait par le biais d'un fichier de configuration (fichier dit de mapping) au format XML qui doit être chargé dans TosCA. (cf. figure).

Le fichier XML de configuration permet de spécifier, pour chacun des paramètres, une mise à l'échelle des valeurs d'automatisation : dans l'environnement du DAW, les pistes d'automatisation sont codées en flottant sur [0 - 1]; TosCA réalise une mise à l'échelle de [0 - 1] vers le domaine [min - max] choisi par l'utilisateur. Cette mise à l'échelle affecte les données sortantes et l'opération inverse est appliquée aux données entrantes.

Configuration

TosCA a été développé avec le framework Juce. Juce offre un wrapper de plugin qui permet, à partir d'une base de code commune, de générer des plugins dans différents formats (VST, AudioUnits, etc.). Ainsi, TosCA est disponible sous MacOS et Windows, en format VST, VST3, AU, AAX, en mode 32 ou 64 bit. Il est distribué via le Forum Ircam.



Vue du plugin TosCA dans ProTools et fichier d'exemple de configuration des paramètres d'automatisation.

1. Plugin en insert sur la piste 1
2. Liste des paramètres exposés
3. Fenêtre du plugin
4. Pistes d'automatisation

LE FORUM IRCAM

L'Ircam s'engage pour la recherche artistique, au service des créateurs venus de la musique comme des arts plastiques, du numérique et de la scène. Ils se retrouvent dans la communauté du Forum Ircam, qui implique aussi d'autres secteurs professionnels: le design et l'ingénierie sonore, l'enseignement et l'interprétation, et regroupe plus de 10 000 membres à l'international.

LA PLATEFORME COLLABORATIVE EN LIGNE FORUM.IRCAM.FR

À l'automne 2018, le Forum Ircam verra sa plateforme collaborative renouvelée et agrémentée de nouvelles fonctionnalités. En sus des fonctions de networking professionnel, de communication et de dissémination technologique déjà existantes, elle intégrera un nouveau service facilitant la gestion des projets artistiques et en offrira de multiples vues dans toutes les étapes de leur élaboration. Le Forum Ircam facilite ainsi le développement collectif de nouvelles idées, favorise la transmission des pratiques, l'archivage et l'indexation des connaissances, et offre une vue d'ensemble sur les outils et innovations disponibles pour aborder un nouveau challenge.

PUBLIC ARTISTES,
CHERCHEURS/EUSES, INGÉNIEURS/ES, DESIGNERS/
EUSES, CONCEPTEURS/TRICES SONORES, MAKERS,
ENSEIGNANTS/TES, INDUSTRIELS/LES DU SON
ET DE LA MUSIQUE

CONTACT

01 44 78 49 62
ircam-forum@ircam.fr

FORUM.IRCAM.FR

LES ATELIERS DU FORUM IRCAM

Trois jours de rencontres ouvertes aux professionnels et aux amateurs; trois jours de conférences, workshops, démos et de partage autour de la musique et du son, dans un esprit pluridisciplinaire.

LES ATELIERS DU FORUM HORS LES MURS

En collaboration avec les universités et les centres de recherche et culturels du monde entier, un événement in situ est organisé une fois par an à l'étranger (Séoul 2014, São Paulo et Buenos Aires 2015, Taipei 2016, Santiago du Chili 2017).

PROCHAIN ÉVÉNEMENT LES ATELIERS DU FORUM → 26-29 MARS 2019 IRCAM

INTERFACES RECHERCHE/CRÉATION

Responsable: Gregory Beller
Karim Haddad, Stéphanie Leroy, Paola Palumbo,
Raphaël Voyazopoulos

LES ÉQUIPES DE JUIN 2017 À JUIN 2018

■ UMR 9912 – SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA MUSIQUE ET DU SON

Directrice: Brigitte d'Andréa-Novel (SU)

Directeur adjoint: Jean-Louis Giavitto (CNRS)

Directeur (par intérim): Carlos Agon Amado (SU)

(de juillet à décembre 2017)

Administration

Sylvie Benoit, Carole Tan, Anne-Marie Vaudeville (CNRS),
Vasiliki Zachari (CNRS)

Responsables d'équipes

Systèmes et signaux sonores: audio/acoustique instruments:
Thomas Hélie

Espaces acoustiques et cognitifs: Olivier Warusfel

Perception et design sonores: Patrick Susini

Analyse/synthèse des sons: Axel Roebel

Interactions son musique mouvement: Frédéric Bevilacqua

Représentations musicales: Gérard Assayag

Analyse des pratiques musicales: Nicolas Donin

Chercheurs et ingénieurs

Carlos Agon-Amado (SU), Moreno Andreatta (CNRS), Luc Ardaillon (CNRS), Jean-Julien Aucouturier (CNRS), Mondher Ayari (univ. Strasbourg), Dogaç Basaran (CNRS), Joël Bensoam, Georges Bloch (univ. Strasbourg), Alain Bonardi (univ. Paris-8), Riccardo Borghesi, Henri Boutin (SU), Jean Bresson, Clément Cannone (CNRS), Baptiste Caramiaux (CNRS), Thibaut Carpentier (CNRS), Carmine Emanuele Cella, Frédéric Cornu, Ken Deguernel (univ. de La Rochelle), Franck Elisabeth, Philippe Esling (SU), Laurent Feneyrou (CNRS), François-Xavier Féron (CNRS), Emmanuel Fléty, Raphaël Foulon, Hadrien Foroughmand, Dominique Fourer, Annelies Fryberger (SU), Matthias Geier, Jean-Louis Giavitto (CNRS), Louise Goupil (CNRS), Karim Haddad, Thomas Hélie (CNRS), Lise Hobeika (CNRS), Olivier Houix, Marguerite Jossic, Pierre Laffitte, Jean-Philippe Lambert, Quentin Lamerand, Joseph Larralde, Raphaël Leïba (UPMC), Marco Liuni (CNRS), Yi-Ju Lin (National Cheng Kung University), Benjamin Matuszewski, Adelino Mendes Ferro, Gabriel Meseguer, Rémi Mignot, Nicolas Misdariis, Jérôme Nika (univ. de La Rochelle), Markus Noisternig, Nicolas Obin (SU), Geoffroy Peeters, Charles Picasso, Robert Piéchaud, David Poirier

Quinot, Mathieu Prang, François Ribac (univ. de Bourgogne), Alexandre Robert (SU), David Roze (CNRS), Stéphan Schaub (univ. d'État de Campinas), Norbert Schnell, Nadine Schütz (ETH Zurich), Diemo Schwarz, Lou Seropian (CNRS), Jordan Smith (Centrale Supélec) Marine Taffou (IRBA), Vincent Tiffon (univ. Lille 3), Louise Vasa (CNRS), Isabelle Viaud-Delmon (CNRS). Anders Vinjar (CNRS), Gabriel Vogel (CNRS)

Techniciens

Djellal Chalabi (CNRS), Camille Dianoux (SU), Arnaud Recher (CNRS)

Documentaliste

Sandra El-Fakhouri

Doctorants

Pavlos Antoniadis, Pablo Arias, Baptiste Bacot, Adrien Bitton, Julia Blondeau, Damien Bouvier, Daniel Cabanzo, Hugo Caracalla, Tristan Carsault, Axel Chemla, Alice Cohen, Leopold Crestel, Ken Deguernel, Pierre Donat, Guillaume Doras, Jean François Ducher, José Miguel Fernandez, Grégoire Genuys, Daniele Ghisi, Lise Hobeika, Céline Jacques, Marguerite Jossic, Frédéric Le Bel, Tristan Lebrun, Raphaël Leïba, Jeanne Maisonhaute, Namur Matos Rocha, Lara Morciano, Remy Muller, Laura Rachman, Alessandro Ratoci, Kevin Sanlaville, Hugo Scurto, Maxime Sirbu, Marco Suarez Cifuentes, Pierre Talbot, Marc Wijnand

Stagiaires

Achille Aknin, Cyran Auouameur, Victor Audouze, Daniel Bedoya, Paul Best, Damien Bestard, Elena Brunet, Francesco Cameli, Pierre Carré, Tristan Carsault, Nicolas Chartier, Eugénia Eremeeva, Godelive Forceville, Hadrien Foroughmand, Pierre-Amaury Grumiaux, Thomas Guennoc, Nicolas Haezebaert, Vincent Iampietro, Mélissa Jeulin, Sarah Jibodh-Jiaouan, Cyril Jost, Colin Lardier, Pierre Lavalette, Jonas Margraf, Lucie Marignier, Giacomo Martinelli, Pierre Massé, Judy Najnudel, Ward Nijman, Rosalie Ollivier, Romain Petit, Anh-Khoa Pham, Mathis Raibaud, Pierre Rampon, Carl Robinson, Felix Rohrlich, Paul Saint-Aubert, Victoire Siguret, Clément Tabary, Bavo Van Kerrebroeck, Victor Wetzel, Marc Wijnand, Frank Zagala

■ DÉPARTEMENT INNOVATION ET MOYENS DE LA RECHERCHE

Directeur: Hugues Vinet

Administration, coordination, gestion des projets

Sylvie Benoit, Louise Enjalbert, Clémentine Gorlier,
Ghislaine Montagne, Francis Rousseaux

Valorisation industrielle

Responsable: Frederick Rousseau
Charles Picasso

Pôle Web

Responsable: Guillaume Pellerin
Cécile Drencourt, Emilie Zawadzki

Service informatique

Responsable: Raphael Sallé de chou
Benjamin Boudoir, Rémi Desmonet, Mikhaël Gauthier,
Olivier Labat

Nous écrire: prenom.nom@ircam.fr

Directeur de la publication Frank Madlener **Responsable de la publication** Brigitte d'Andréa-Novel **Mise en page** Olivier Umecker
Reprographie Jean-Paul Rodrigues **Couverture** BelleVile © photographie Thinkstock

UMR 9912 – STMS
IRCAM | 1, place Igor-Stravinsky 75004 Paris, France | +33 (0)1 44 78 48 43

