ircam
Centre
Pompidou

RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT À L'IRCAM

SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DE LA MUSIQUE ET DU SON (UMR 9912)

cnrs

UPMC
SORBONNE UNIVERSITÉS

L'INNOVATION À L'IRCAM EN QUELQUES RÉALISATIONS RÉCENTES

SUCCÈS DE L'IRCAM 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 20 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 À L'IRCAM
Obtenu fin 2013 par Jean-Julien Aucouturier, chercheur récemment recruté au CNRS et 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*
qui a atteint les 100 000 téléchargements, est la référence pour la recherche musicale et la composition assistée par ordinateur.

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 à l'Ircam mené sur plus de dix ans.

PROJET INTERLUDE: PRIX ANR 2013 DE L'IMPACT SOCIÉTAL ET PRIX GUTHMANN 2011
Ce projet soutenu par l'Agence nationale de la recherche, coordonné par l'Ircam en collaboration avec le Grame, NoDesign, DaFact, Voxler et l'Atelier des Feuillantines, a porté sur l'interaction gestuelle expressive avec les contenus musicaux.

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 en 2009.

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 À L'ESPACE DE PROJECTION
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 Synthesiset 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.

SPAT: PRIX 2011 DU MAGAZINE RESOLUTION DU MEILLEUR INSÉRABLE AUDIO
Proposant une approche novatrice de la simulation de l'espace sonore à partir de critères perceptifs, brevetée et intégrée dans la norme audiovisuelle MPEG-4, le logiciel Spat est commercialisé dans le cadre de la collection Ircam Tools en collaboration avec la société Flux ::.

DESIGN SONORE DE CONCEPT-CARS ET VÉHICULES DE SÉRIE RENAULT
L'Ircam 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-car DeZir).

LES CHIFFRES CLÉS DE LA RECHERCHE À L'IRCAM

7 **équipes de recherche** menant des travaux dans les différentes disciplines scientifiques en rapport avec la musique : acoustique, traitement du signal, 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.

10 **environnements logiciels** développés et diffusés auprès de **6 000** **utilisateurs professionnels dans le monde** inscrits au Forumnet Ircam (groupe d'utilisateurs).

ÉDITO

L'objet de cette brochure, destinée à un lectorat professionnel ou spécialisé, est de présenter les activités de recherche et développement de l'Ircam de manière détaillée et actualisée.

Les activités de recherche accueillies à l'Ircam s'inscrivent dans le cadre de l'unité mixte de recherche STMS, associant le CNRS, l'université Pierre et Marie Curie et le ministère de la Culture et de la Communication à l'Ircam (directeur : Gérard Assayag, période quinquennale 2014-2018).

Les principaux faits marquants de la période récente et en cours sont les suivants :

- Création en janvier 2017 de la **nouvelle équipe S3AM (Systèmes et signaux sonores – Audio/acoustique et instruMents)** dirigée par Thomas Hélie, réunissant les équipes Acoustique instrumentale et l'équipe-projet S3 transversale aux équipes Acoustique instrumentale et Analyse/synthèse, autour de la modélisation de systèmes multiphysiques et des signaux sonores ;
- Important processus en 2017 d'élaboration du projet de recherche de l'UMR STMS pour la période quinquennale 2019-2023 en vue de son évaluation par l'HCERES et articulation à un nouveau chantier transversal à l'ensemble de l'Ircam sur le **renouvellement des thématiques et l'organisation de la recherche musicale** ;
- Lancement au Centre Pompidou en mars 2017 d'un **nouvel événement annuel intitulé Mutations / Créations** 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. 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 ».
- **Montage en tant que coordinateur et sélection du projet européen VERTIGO** présenté à l'appel H2020 ICT36-2016. Le projet 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 dans le champ technologique à des fins d'innovation, à travers notamment un important programme de résidences, le développement d'une plateforme Web collaborative et la présentation publique annuelle des travaux de la communauté dans le cadre de Mutations / Créations au Centre Pompidou.
- La sélection de VERTIGO, de même que du projet iMuSciCA consacré aux applications pédagogiques de la synthèse sonore par modélisation physique, vient **conforter les succès récemment remportés par l'Ircam aux appels européens H2020** et son positionnement parmi les premiers acteurs français impliqués dans le programme H2020 ICT.
- Lancement, en 2016-2017, de **nouveaux produits innovants liés aux collections logicielles de l'Ircam** : **Snail-Analyser** (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 IrcaMax** pour le logiciel Live d'Ableton commercialisés par cette même société, **nouvelle version largement étendue Ircam TS Pro** de la collection Ircam Lab.

Hugues Vinet, janvier 2017

SOMMAIRE

5 LA RECHERCHE À L'IRCAM

6 MISSIONS
8 LIENS INSTITUTIONNELS
9 ORGANISATION ET DOMAINES D'ACTIVITÉ
11 PRINCIPAUX ENJEUX ET ORIENTATIONS ACTUELS
14 DIFFUSION ET VALORISATION DE LA RECHERCHE

17 LES ÉQUIPES DE RECHERCHE

18 ÉQUIPE ESPACES ACOUSTIQUES ET COGNITIFS
19 ÉQUIPE PERCEPTION ET DESIGN SONORES
20 ÉQUIPE ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SONS
21 ÉQUIPE SYSTÈMES ET SIGNAUX SONORES : AUDIO/ACOUSTIQUE, INSTRUMENTS (S3AM)
22 ÉQUIPE REPRÉSENTATIONS MUSICALES
23 ÉQUIPE ANALYSE DES PRATIQUES MUSICALES
24 ÉQUIPE INTERACTION SON MUSIQUE MOUVEMENT

25 LES PRINCIPAUX PROJETS DE RECHERCHE

26 SYNTHÈSE ET TRAITEMENT SONORES
26 MODÉLISATION PHYSIQUE
28 MODÈLES DE SIGNAUX
31 VOIX
33 INDEXATION ET MOTEURS DE RECHERCHE
38 SPATIALISATION SONORE
38 ANALYSE-SYNTHÈSE DE CHAMPS SONORES
41 INTERACTION ET COGNITION SPATIALES
43 GESTE ET INTERACTION
43 INTERACTION GESTUELLE
49 MODÈLES INFORMATIQUES DU TEMPS ET DE L'INTERACTION
54 COMPOSITION, DESIGN ET MÉDIATION
54 OUTILS DE COMPOSITION
59 ANALYSE ET MÉDIATION
64 DESIGN ET COGNITION SONORES

71 LES LOGICIELS DE L'IRCAM

72 LE FORUM
74 SUPERVP, TRAX ET BIBLIOTHÈQUES
75 AUDIOSCULPT
76 IRCAMLAB TS
76 THE SNAIL-ABSOLUTE TUNING
77 MODALYS
78 OPENMUSIC
79 ORCHIDS
80 SPAT~
81 TOSCA
82 PANORAMIX
83 MAX
84 ANTESCOFO
85 SUIVI DE GESTE ET DE FORMES TEMPORELLES
85 MUBU POUR MAX
86 CATART
87 OMAX

88 L'ÉQUIPE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

1

LA RECHERCHE À L'IRCAM

Sciences et technologies
de la musique et du son
UMR 9912 STMS
(Ircam, CNRS, UPMC)

MISSIONS

L'Ircam a pour mission fondamentale de susciter une interaction féconde entre recherche scientifique, développement technologique et création musicale contemporaine. Cette articulation constitue, depuis sa création en 1977, le principal axe structurant 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…

« L'Ircam a pour mission fondamentale de susciter une interaction féconde entre recherche scientifique, développement technologique et création musicale contemporaine. »

Cette médiation entre recherche et création musicales comporte en particulier le développement d'outils logiciels 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, effectuées dans le cadre de l'unité mixte de recherche STMS (Sciences et technologies de la musique et du son) soutenue par le CNRS et l'université Pierre-et-Marie-Curie (UPMC-Sorbonne Universités).

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 (notamment le CNRS et l'université Pierre et Marie Curie – Sorbonne Universités et l'Inria) 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. 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. De plus, ce côté configurable est propice à la mise au point de versions simplifiées des logiciels, destinées à des cibles d'utilisateurs plus larges sous forme de collections de produits : Ircam Tools (professionnels de l'audio), IrcaMax (musique électronique live), Ircam Lab (large diffusion). Le développement des logiciels comprend en particulier la conception et l'évaluation d'interfaces homme-machine spécifiques et l'intégration permanente de technologies issues d'une industrie informatique en rapide évolution. 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 5 000 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, spatialisation, synthèse, etc.), intégrés dans les environnements commerciaux cibles.

« Le développement effectue l'adaptation des connaissances, modèles et prototypes issus de la recherche sous la forme d'environnements logiciels. »

LIENS INSTITUTIONNELS

L'Ircam, association à but non lucratif reconnue d'utilité publique, est associé au Centre Pompidou et placé sous la tutelle du ministère de la Culture et de la communication.

Le développement de liens structurels avec de grandes institutions de recherche et d'enseignement supérieur constitue pour l'Ircam une priorité destinée à promouvoir son inscription dans le paysage national et international de la recherche. Au-delà des nombreuses collaborations menées par les différentes équipes avec des laboratoires de diverses disciplines, les principaux axes de structuration concernent :

« Le développement de liens structurels avec de grandes institutions de recherche et d'enseignement supérieur constitue pour l'Ircam une priorité destinée à promouvoir son inscription dans le paysage national et international de la recherche. »

L'unité mixte de recherche STMS (Sciences et technologies de la musique et du son-UMR9912), regroupant chercheurs et enseignants-chercheurs de l'Ircam, du CNRS et de l'UMPC (université Paris-6) autour d'un projet scientifique pluridisciplinaire. Dans le cadre du CNRS, l'UMR est rattachée à titre principal à l'Institut des sciences et technologies de l'informatique et de ses interactions (INS2I) et à titre secondaire aux instituts INSIS (Sciences de l'ingénierie et des systèmes), INSHS (Sciences de l'homme et de la société) et INSB (Sciences biologiques). Dans le cadre de l'UPMC, elle est intégrée à la faculté d'Ingénierie et membre du Collegium Musicae de Sorbonne Universités. L'Ircam est également tutelle et STMS laboratoire membre du Labex SMART coordonné par l'UPMC autour des interfaces homme-machine. Une collaboration a été initiée avec l'Inria autour de la création, depuis 2013, de l'équipe projet commune MuTant, portant sur l'élaboration de langages synchrones pour la musique et l'analyse temps réel des flux audio.

Le parcours Atiam (acoustique, traitement du signal et informatique appliqués à la musique), accueilli et coordonné par l'Ircam, qui dispense une formation scientifique pluridisciplinaire autour de la musique (coordonnateur Ircam : Moreno Andreatta). Cette formation, sans équivalent sur le territoire français, est organisée dans le cadre du master Sciences et technologie de l'UPMC, en collaboration avec l'École Télécom ParisTech. L'Ircam est également partenaire du Master Design sonore co-organisé avec L'EPCC – École supérieure des Beaux-Arts Tours Angers Le Mans, l'université du Maine et l'ENSCI – Les Ateliers.

La participation de l'UMR STMS comme **laboratoire d'accueil des écoles doctorales de l'UPMC** dans ses domaines de compétence, en particulier EDITE (École doctorale d'informatique, télécommunications et électronique de Paris), EDSMAER (Sciences mécaniques, acoustique, électronique et robotique) et ED3C (cerveau, cognition, comportement). Dans le cadre de la Comue Sorbonne Universités et de l'Idex SUPER, l'université Paris-4 – Sorbonne (ED Concepts et langages), l'UPMC et l'Ircam ont initié à la rentrée universitaire 2014 une nouvelle filière doctorante destinée aux compositeurs et intitulée Doctorat de musique – Recherche en composition.

Aux échelles nationale et européenne, la participation très active de l'Ircam à de nombreux projets de recherche et développement dans le cadre de programmes collaboratifs (pôle de compétitivité à vocation mondiale Cap Digital, ANR, PIA, FUI, BPI, etc.) et programmes de la Commission européenne (FP7, H2020) est également l'occasion de nouer et pérenniser des liens avec de nombreux partenaires, publics et privés.

ORGANISATION ET DOMAINES D'ACTIVITÉ

Le propre de l'Ircam est de susciter l'accueil et la coordination de points de vue scientifiques variés sur le phénomène musical, issus de la physique (acoustique, mécanique), du traitement de signal, de l'informatique, de la psychologie cognitive, de la musicologie. Le mode d'organisation mis en œuvre à cet effet repose au sein de l'UMR STMS sur une répartition thématique des activités entre équipes spécialisées, chacune d'elles intégrant l'ensemble de la chaîne de travaux correspondant à son domaine : recherche, développement logiciel, contrats et projets extérieurs, diffusion. L'ensemble des collaborateurs (110 chercheurs, ingénieurs, doctorants, post-docs, techniciens et administratifs), regroupés au sein du département Recherche et développement de l'Ircam dirigé par Hugues Vinet et de l'UMR STMS dirigée par Gérard Assayag, se répartissent selon les équipes présentées ci-après.

ESPACES ACOUSTIQUES ET COGNITIFS

L'équipe Espaces acoustiques et cognitifs, dirigée par Olivier Warusfel, se consacre à la notion d'espace, dans sa manifestation ou sa reproduction sonore ainsi que dans sa réalité cognitive. Les disciplines scientifiques concernées sont le traitement du signal pour l'élaboration de techniques de reproduction du champ sonore et l'informatique appliquée à la conception d'interfaces de contrôle de la spatialisation. La perception et la cognition spatiales sont également impliquées pour nourrir en amont la réflexion sur l'apport de la dimension spatiale dans l'écoute de la musique ou de notre environnement en association avec d'autres modalités sensorielles. Les applications artistiques concernent le domaine musical pour le concert ou la post-production et 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 les perspectives d'applications scientifiques pour la recherche en neurosciences sur les dispositifs à visée thérapeutique ou les simulateurs pour le domaine des transports.

PERCEPTION ET DESIGN SONORES

L'équipe Perception et design sonores de l'Ircam, créée en 2005 et dirigée par Patrick Susini, réunit des chercheurs en psychoacoustique, en traitement/synthèse du signal, en psychologie expérimentale et, depuis plus récemment, en neurosciences cognitives. Cette équipe pluridisciplinaire a élaboré un programme articulant une activité de recherche fondamentale sur la perception des sons et des actions de création et de pédagogie dans le domaine du design sonore.
Les thèmes de recherche de l'équipe sur la perception des sons concernent : la caractérisation perceptive des sons allant des descripteurs du signal aux percepts et concepts auditifs associés ; les mécanismes cognitifs mis en jeu dans l'identification d'une source sonore et dans le traitement émotionnel des sons ; les interactions entre perception auditive et processus moteurs.
Les applications en design sonore de l'équipe s'attachent à l'étude et à la conception de l'environnement sonore quotidien sous différents aspects : signalétique sonore pour les lieux publics ; navigation dans les interfaces homme-machine ; design sonore des véhicules électriques ; interaction, qualité et identité sonores de produits industriels.

ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SONS

L'équipe Analyse et synthèse des sons, dirigée par Axel Roebel, étudie des procédés d'analyse, de synthèse et de transformation des sons à partir de méthodes de traitement de signal ou de la modélisation acoustique des sources sonores. Des procédures de contrôle sont alors élaborées pour « jouer » des instruments synthétiques ainsi obtenus, notamment à partir d'interfaces homme-machine adaptées. Une part importante des travaux récents de l'équipe s'oriente également vers l'analyse et l'indexation automatiques des contenus musicaux. Ces recherches donnent lieu au développement d'outils de synthèse et de traitement sonores (logiciels SuperVP, Audiosculpt et Diphone Studio) et trouvent de nombreuses applications dans les domaines du traitement de la voix, de la simulation sonore, de l'indexation, du multimédia, etc.

SYSTÈMES ET SIGNAUX SONORES : AUDIO/ACOUSTIQUE, INSTRUMENTS

L'équipe « Systèmes et Signaux Sonores : Audio/Acoustique, instruMents » - S3AM, dirigée par Thomas Hélie, élabore des outils théoriques, technologiques et expérimentaux portant sur les systèmes multiphysiques et les signaux sonores qu'ils produisent. Dans cette démarche, l'approche globale « systèmes et signaux » apporte une synergie dès la conception des outils, en connectant plusieurs disciplines et champs scientifiques : physique, théorie des systèmes et du contrôle, géométrie différentielle, analyse numérique, traitement du signal, informatique, électronique, mécatronique et robotique.

REPRÉSENTATIONS MUSICALES

L'équipe Représentations musicales, dirigée par Gérard Assayag, s'intéresse à la formalisation informatique des structures musicales. Elle oriente ses travaux autour du développement de l'environnement OpenMusic d'aide à la composition et à l'analyse musicales, permettant le calcul de structures musicales symboliques à partir de langages de programmation graphique. Les travaux récents de l'équipe s'intéressent plus largement à l'analyse automatisée des structures musicales à partir de représentations symboliques, au contrôle de la synthèse, à l'orchestration assistée, à la modélisation stylistique, à l'improvisation par ordinateur, à l'application de modélisation informatique en ethnomusicologie et à la pédagogie musicale assistée.

ANALYSE DES PRATIQUES MUSICALES

L'équipe Analyse des pratiques musicales, dirigée par Nicolas Donin, a pour objet d'étude les œuvres et les pratiques musicales savantes des XX^{e} et XXI^{e} siècles. Son champ d'activité relève de la musicologie et plus généralement des sciences humaines ; il se développe sur quatre plans : recherches empiriques sur la composition et l'interprétation contemporaines ; travaux musicologiques suscitant la création d'outils d'écoute et d'analyse musicale ; enquêtes historiques et épistémologiques sur les pratiques savantes de la musique au XX^{e} siècle ; édition scientifique d'œuvres et d'écrits de compositeurs.

INTERACTION SON MUSIQUE MOUVEMENT

L'équipe Interaction son musique mouvement, précédemment intitulée Interactions musicales temps réel, dirigée par Frédéric Bevilacqua, mène des recherches et développements sur les systèmes interactifs dédiés à la musique et au spectacle vivant. Les recherches portent sur les systèmes de captation et d'analyse multimodale (geste et son) et la synthèse sonore interactive. Les travaux actuels sont focalisés principalement sur les technologies mobiles et l'interaction collective ainsi que sur les mécanismes d'apprentissage sensori-moteur. Les applications concernent la création (musique, danse, installations interactives), la pédagogie, les nouveaux instruments de musique numériques, les jeux musicaux ainsi que la rééducation.

Le département Recherche et développement comporte également des équipes logistiques, au service de l'ensemble des secteurs de l'Ircam.

Le Centre de ressources de l'Ircam (Cri), dirigé par Nicolas Donin, assure la gestion et l'accès aux documents physiques (médiathèque) et numériques de l'Ircam et leur diffusion externe via le site ressources.ircam.fr.

Le Service informatique, dirigé par Raphaël Sallé de Chou, assure la gestion de l'ensemble du parc informatique de l'Ircam : environ 400 ordinateurs dont 50 serveurs physiques hébergeant 250 serveurs virtuels reliés à l'Internet via le réseau Renater par une double liaison de 10 Gbits/seconde.

L'atelier de mécanique, coordonné par l'équipe S3AM, conçoit et réalise des prototypes mécaniques à la demande des différentes équipes de l'Ircam.

PRINCIPAUX ENJEUX ET ORIENTATIONS ACTUELS

Les enjeux de la recherche et du développement de l'Ircam résident, d'une part, dans l'évolution propre des problématiques scientifiques et technologiques dans leur rapport à la création artistique contemporaine, d'autre part, dans les retombées de l'expertise spécifique ainsi constituée à des enjeux sociétaux plus larges.
Les principaux objectifs scientifiques actuels peuvent être énoncés selon quatre orientations thématiques transversales, qui structurent les contributions complémentaires des différentes équipes aux principaux enjeux de la recherche musicale, portant respectivement sur la production du matériau sonore, l'écriture, l'interaction, et l'apport en amont de différentes disciplines scientifiques.

1 – MODÉLISATION, SIMULATION ET ANALYSE

Cette thématique porte sur les différentes techniques de synthèse et de traitement des sons, sur la base des acquis des différentes équipes, dans leur perfectionnement et leur renouvellement. Se situant principalement dans les domaines du traitement de signal et de l'acoustique, elle concerne les aspects suivants :

• Modèles de signaux pour l'analyse, la synthèse et le traitement sonores
Cet objet de recherche trouve de nombreuses applications pour le travail en studio et pour les situations de performance en temps réel. Au-delà du perfectionnement des méthodes existantes – notamment vocodeur de phase à travers le moteur SuperVP – les enjeux actuels de la recherche portent sur les méthodes d'analyse automatisée des flux audio polyphoniques – segmentation temporelle et séparation de sources – et sur l'élaboration de modèles de signaux spécifiques à différentes classes de sources sonores – instruments (modèles source-filtre dynamiques), textures sonores (sons environnementaux : pluie, vent, frottements, etc.).

• Synthèse et traitement de la voix
Si les méthodes générales en traitement sonore s'appliquent à certaines manipulations du signal vocal (transformation de genre ou d'identité par exemple), des approches particulières, impliquant une prise en compte des différents niveaux de représentation du contenu linguistique, de la phonologie à la sémantique, sont menées tant sur la synthèse à partir du texte que pour une analyse et une modélisation de la prosodie et de l'expressivité. De nouvelles directions de recherche sont actuellement lancées sur la synthèse de voix chantée. Ces travaux intéressent notamment la création musicale dans la manipulation nouvelle qu'ils permettent du matériau vocal, parlé ou chanté, et sa confrontation à des sources instrumentales et électroniques.

• Indexation musicale
L'indexation musicale consiste à extraire automatiquement des informations (descripteurs) des enregistrements. Les recherches dans ce domaine répondent à d'importants enjeux sociétaux liés à la distribution de la musique, selon de nouveaux modes d'accès reposant sur des bases de données des enregistrements. Ils débouchent sur l'élaboration de méthodes de description, d'analyse et de classification automatisées des morceaux de musique, qui, au-delà de leurs applications aux industries culturelles, suscitent un intérêt important en création musicale, dans l'extension du vocabulaire musical traditionnel (hauteurs, intensités, structures temporelles) introduites par les descripteurs à de nouvelles catégories du sonore. Une direction nouvelle d'investigation concerne la géométrie de l'information, appliquant les concepts des variétés riemaniennes à la théorie de l'information.

• Lutherie virtuelle et augmentée
Ce thème s'attache à l'étude des phénomènes liés à la production physique du son, notamment dans les instruments de musique. Les directions de recherche portent sur la modélisation et la simulation de nouvelles interactions, comportements non linéaires (excitation, propagation) et du rayonnement, ainsi que l'étude du contrôle actif appliqué aux instruments.
Elles débouchent sur des applications, non seulement en création (lutherie virtuelle, lutherie hybride et augmentée), en facture instrumentale, mais aussi en simulation et réalité virtuelle.

• Spatialisation sonore
Le recours aux techniques de spatialisation sonore s'est généralisé en création musicale, toutes tendances esthétiques confondues, et trouve de larges applications en production audiovisuelle, en réalité virtuelle et en simulation multimédia. Les recherches actuelles portent en particulier sur les dispositifs de reproduction avancés (Wave Field Synthesis, Ambisonique, binaural et transaural) et la mise au point de nouveaux modèles hybrides entre approches perceptives et physiques étendant les concepts du Spat. L'installation, début 2012, d'un dispositif sans précédent de 450 haut-parleurs à l'Espace de projection de l'Ircam combinant système WFS périphérique et Ambisonique aux ordres supérieurs, a inauguré une étape importante dans l'expérimentation artistique et scientifique du son spatialisé.

2 – REPRÉSENTATIONS ET LANGAGES

Cette thématique, qui se situe principalement dans le champ de l'informatique, concerne les modes de représentation et de manipulation des contenus musicaux. Directement liée aux problématiques d'écriture en composition, elle vise

l'élaboration de langages et environnements informatiques formalisant des structures abstraites décrivant les processus musicaux et les modes de programmation et de calcul de ces structures, en lien avec les techniques d'analyse et de synthèse sonores issues de la thématique précédente.
Ces travaux impliquent la mise en œuvre de relations entre différents niveaux de représentations des informations sonores et musicales, abordée systématiquement depuis plusieurs années sous la dénomination de signal/symbolique.

Ils comprennent les directions de recherche suivantes :

• Composition assistée par ordinateur
Dans la continuité des recherches et développements menés autour de l'environnement OpenMusic, les travaux visent l'extension des fonctions existantes, telles que les représentations et opérations sur les structures temporelles et le rythme, et de nouvelles interfaces homme-machine, comme nouveaux modes d'entrée proposés au compositeur (papier augmenté) ou des extensions réactives de l'environnement constituant un lien entre calcul des structures musicales avec les situations d'interaction. OpenMusic évolue vers un environnement réactif combinant à la fois les représentations de haut niveau symbolique et les fonctionnalités des environnements d'interactions.

• Écriture du son et de la spatialisation
Établissant des relations entre les structures destinées à l'aide à l'écriture instrumentale d'une part, les techniques d'analyse et de synthèse issus de la première thématique d'autre part, la formalisation des processus électroniques fait actuellement l'objet d'avancées importantes, tant pour le contrôle de la synthèse que de la spatialisation.

• Aide à l'orchestration
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 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.

• Écriture du temps et de l'interaction
L'objectif de cette direction de recherche est de développer des concepts, outils et langages dépassant les notions en usage dans les environnements existants, notamment Max (combinaison de traitements asynchrones réactifs et de processus synchrones pour le traitement de signal) pour fournir aux compositeurs de nouveaux modes de formalisation et d'exécution des processus musicaux interactifs. Dans la continuité des travaux sur la synchronisation ordinateur/interprète menés sur le suivi de partition, un objectif important est d'appliquer et d'étendre les formalismes des langages synchrones au cas des processus musicaux. Un autre objectif est de fournir des environnements de créativité artificielle interactifs capables d'improvisations avec des humains (OMax).

3 – INTERACTIONS MUSICALES ET SONORES

Cette troisième thématique concerne l'étude et le développement d'interactions associant des sujets humains, notamment en situation de performance, avec des processus musicaux ou sonores, éventuellement dans le contexte plus large de dispositifs multimédias. Les applications concernent les arts de la scène (musique, danse, théâtre, etc.), les installations, le design sonore interactif et plus largement les situations d'interaction faisant intervenir un couplage fort entre performance et son. Les directions de recherche sont les suivantes :

• Analyse du geste
Les travaux sur l'analyse du geste comportent deux aspects complémentaires : d'une part, la conception et la réalisation de dispositifs de captation adaptés aux situations visées (tel que le système sans fil MO) ; d'autre part, l'étude et la modélisation des signaux gestuels issus des différents systèmes de captation.

• Interaction geste/son
Ce thème de recherche et développement combine des études fondamentales sur les relations entre geste et son dans différentes situations et la mise en œuvre de dispositifs d'interaction, faisant intervenir des techniques de synthèse sonore temps réel et des méthodes de mapping, de reconnaissance et de suivi de formes continues mettant en relation les paramètres de synthèse avec les informations gestuelles. Jusqu'à présent concentrées sur les aspects technologiques de l'interaction mono-utilisateur, les recherches actuelles s'étendent aux situations collaboratives et à des études plus fondamentales sur l'apprentissage sensori-moteur.

• Interaction symbolique
Ce troisième volet de recherches concerne le développement de situations d'interactions musicales par ordinateur, en particulier dans le contexte de l'improvisation. L'utilisation de modèles de séquences de symboles (Oracle des facteurs, système OMax) constituant une mémoire du jeu passé permet la génération de nouvelles séquences confrontant l'interprète à son double informatique, réagissant à son propre jeu. Une autre application est l'extension de la notion d'instrument électronique à la génération, en fonction du jeu, de séquences issues de l'analyse de corpus musicaux prédéfinis.

4 – FONDEMENTS COGNITIFS, THÉORIQUES ET MUSICOLOGIQUES

Cette dernière thématique transversale regroupe un ensemble de recherches alimentant en amont celles des trois précédentes en leur apportant des corpus de connaissances et de méthodologies issues de différentes disciplines et trouvant des applications relevant de différents aspects de médiation des activités de l'Ircam :

• Psychologie de l'audition et design sonore
L'objectif de ces travaux est double : contribuer à l'avancée des connaissances, dans le champ de la psychologie expérimentale en perception et cognition de l'audition, notamment des sons environnementaux ; en appliquer les résultats et méthodologies au design sonore, c'est-à-dire à la conception de sons destinés à intervenir dans notre environnement quotidien.

• Neurosciences de la musique
En lien avec les recherches en psychoacoustique, ces travaux visent à caractériser, grâce à l'imagerie cérébrale, l'activité cognitive pendant l'écoute et le ressenti émotionnel de la musique, dans le but de construire de nouveaux modèles computationnels pour la description et l'interaction musicale.

• Cognition spatiale intermodale
En lien avec les recherches sur la spatialisation sonore, ces travaux étudient le rôle et les relations entre les différentes modalités sensorielles dans la constitution de représentations mentales de l'espace, en particulier dans les situations d'interaction multimodale et de réalité virtuelle.

• Musicologie contemporaine et analyse des processus musicaux
Ce thème de recherche prend pour objet les œuvres contemporaines en étendant les méthodes d'analyse pratiquées en musicologie à celle de leurs processus de production. La structuration des corpus de connaissances qui en résultent fait l'objet de développements hypermédias originaux, alimentant notamment la documentation des œuvres.

• Musique et mathématiques
Ce champ de recherche se consacre à l'étude des formalismes mathématiques décrivant certains processus musicaux rencontrés dans les œuvres contemporaines.

• Ingénierie des connaissances musicales et préservation des œuvres
Ce thème de recherche s'attache à expliciter et formaliser les connaissances contenues dans la réalisation technique d'œuvres interactives reposant sur des supports numériques, en particulier à des fins de documentation et préservation à long terme.

DIFFUSION ET VALORISATION 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.

ANIMATION SCIENTIFIQUE ET DÉBATS INTERDISCIPLINAIRES

L'Ircam organise chaque année plusieurs colloques de portée internationale, d'une part, en accueillant des éditions de conférences spécialisées (telles que NIME'06, IHM'07, ICAD'08, MCM'11, DAFx'11, ELS'14, MoCo'14, UMSM'14, WAC'15, TCPM'15), d'autre part, en organisant des rencontres interdisciplinaires sur des sujets relevant de problématiques actuelles de la recherche musicale et des enjeux sociétaux de la culture et de la technologie : « Écritures du son et de l'interaction » (2006), « Mélodie et fonction mélodique comme objet d'analyse » (2006), « Politique de l'analyse musicale » (2007), « Nouveaux paradigmes pour l'informatique musicale » (2007), « L'expressivité dans la musique et la parole » (2008), « Complexité dans les arts » (2009), « Comment analyser l'improvisation » (2010), « Corps/Espace/Son » (2010), « Modèle/Prototype/Œuvre » (2010), « Produire le temps » (2012), « L'œuvre du numérique » (2013), « Composer (avec) le geste » (2014), « Le savant et le praticien » (2014), « Musiques savantes et musiques actuelles, articulations » (2014), « New Technologies for Music Notation and Representation » (2015), « Archétypes émotionnels » (2016).

VALORISATION SCIENTIFIQUE ET TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

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…).

L'Ircam est agréé par le ministère de la Recherche et de l'enseignement supérieur au titre du Crédit Impôt Recherche 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 (une vingtaine en cours, dont un tiers coordonné par le laboratoire), prestations de recherche, co-encadrement de thèses CIFRE, accompagnement à la création de jeunes pousses (Phonotonic, Mogees et Niland parmi les plus récentes) 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 dizaine 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[1] auprès d'une communauté internationale de plus de 5 000 utilisateurs professionnels. Des applications simplifiées dans leur usage en sont dérivées sous forme de produits logiciels dans le cadre de différentes collections commerciales.

1. forumnet.ircam.fr

COLLECTIONS DE PRODUITS

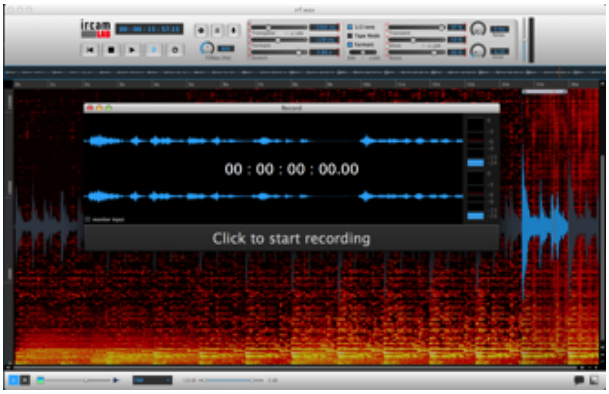
Dérivées des environnements logiciels de l'Ircam, ces collections de logiciels et de bibliothèques de sons, développées et commercialisées en collaboration avec des partenaires reconnus, assurent la diffusion des technologies et connaissances de l'Ircam auprès de diverses cibles d'utilisateurs.

• **Ircam Tools**, développé en collaboration avec la société Flux et commercialisée par celle-ci, propose des modules de traitement audio de haute qualité pour la production musicale et audiovisuelle professionnelle (www.ircamtools.com). Le module Spat issu de cette collection a reçu en 2011 l'Award du meilleur plug-in du magazine professionnel Resolution.

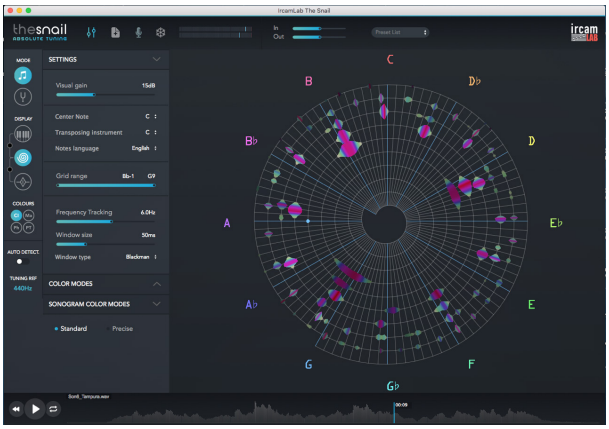
• **IrcaMax :** entièrement développés à l'Ircam, ces *devices* compatibles exclusivement avec le séquenceur Live de la société berlinoise Ableton qui les commercialise, proposent des modules expérimentaux intégrant les technologies issues de l'Ircam pour la musique électronique interactive.

• **Ircam Solo Instruments :** produite en collaboration avec la société Univers Sons et commercialisée par celle-ci, cette collection propose des banques de sons d'instruments acoustiques intégrant les modes de jeux contemporains (IRCAM Solo Instruments et IRCAM Prepared Piano).

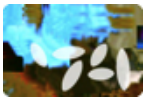
• **Ircam Lab**, entièrement développé à l'Ircam et commercialisé par la société Dont'Crak (http://www.dontcrack.com), propose un ensemble d'applications indépendantes pour Mac et PC et iOS. Ces modules de haute qualité sont conçus avec un objectif de simplification des usages et sont plus particulièrement destinés à l'industrie audio/vidéo ainsi qu'à l'éducation numérique et les pratiques tant amateurs que professionnelles.



Le premier item de cette collection sorti fin 2014, « T.S », permet la manipulation audio en temps réel (transposition et stretching) avec remixage des composantes sonores.
Le dernier produit de cette collection, The Snail-Absolute Tuning sorti début 2016, est un logiciel d'accordage d'instruments et de visualisation de sons de haute précision reposant un algorithme breveté, résultant de la collaboration du CNRS avec l'Ircam dans le cadre de l'UMR STMS.



EXEMPLES DE PARTENARIATS RÉCENTS OU EN COURS (LICENCES, PRESTATIONS DE RECHERCHE ET THÈSES CIFRE)



2

LES ÉQUIPES DE RECHERCHE

ÉQUIPE ESPACES ACOUSTIQUES ET COGNITIFS

Responsable : Olivier Warusfel

ACTIVITÉS

–

L'objet de recherche de l'équipe Espaces acoustiques et cognitifs se développe autour de la notion d'Espace, dans sa manifestation ou sa reproduction sonore ainsi que dans sa réalité cognitive.

Les deux axes majeurs sont consacrés respectivement aux techniques de spatialisation et à la cognition auditive spatiale en contexte d'interaction multisensorielle. Plus concrètement, il s'agit de développer des méthodes de capture, de reproduction ou de synthèse des dimensions spatiales d'une scène sonore, à savoir la localisation des sources dans l'espace et la signature acoustique de l'environnement. Parallèlement, il s'agit d'étudier les mécanismes mis en œuvre par le système nerveux central pour interpréter les informations spatiales acoustiques et les intégrer, le cas échéant avec les informations provenant d'autres modalités sensorielles (vision, proprioception). Nous attendons de cette double démarche un enrichissement mutuel, sachant que l'étude de la cognition spatiale en neuroscience requiert l'intervention de techniques de rendu perfectionnées tandis que ces techniques peuvent être optimisées en considérant les capacités perceptives du sujet auditeur.

Les travaux concernant les techniques de spatialisation se concentrent sur les procédés de synthèse basés sur un formalisme physique du champ sonore (binaural, Wave Field Synthesis et Ambisonics).

Les principaux enjeux identifiés sont, d'une part, la maîtrise tridimensionnelle du champ sonore de sorte à autoriser la synthèse de sources virtuelles et d'effet de salle dans l'ensemble de la sphère auditive et, d'autre part, la synthèse haute-résolution de la directivité des sources virtuelles. Bien que cet axe relève principalement du domaine du traitement du signal, l'objectif est également de fournir des outils de contrôle haut-niveau, exploitant des descripteurs appropriés à la composition musicale et exploitables par les environnements de composition tels que ceux développés dans l'équipe Représentations musicales.

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, l'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.

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 les perspectives d'applications scientifiques pour la recherche en neurosciences, les dispositifs à visée thérapeutique ou les simulateurs pour le domaine des transports.

THÉMATIQUES ET PROJETS ASSOCIÉS

–

- Reproduction de champs sonores(cf. Wave Field Synthesis, High Order Ambisonic, Technologies binaurales et transaurales et projet BILI p. 40)
- Analyse, transformation de champs sonore, réverbération hybride (cf. projets *SOR2*, ORPHEUS, 3DR3, p. 29 et 39)
- Analyse et synthèse du rayonnement des sources sonores (cf. sources à directivité contrôlée, p. 57)
- Contrôle de la spatialisation (cf. Contrôle de la spatialisation et synthèse sonore spatialisée, projet EFFICAC(e) p. 51 et COSIMA, p. 45)
- Perception et cognition auditives spatiales (cf. projets Verve, HC2, p. 42, 43)
- Logiciels Spatialisateur, ToscA, Panoramix (p. 80, 81 et 82).

DOMAINES DE COMPÉTENCE

–

Traitement du signal, acoustique physique, perception/cognition spatiale, réalité virtuelle et augmentée.

COLLABORATIONS

–

Bayerischer Rundfunk, BBC, B<>COM, Ben Gurion Univ. (Tel Aviv, ISR), Cnsmdp (FR), CNES (FR), Elephant Candy, Flux:: (FR), France Télévisions (FR), Fraunhofer ISS, Hôpital de la Salpêtrière (FR), HEGP (FR), Hôpital Universitaire de Zürich (CH), Inria (Sophia Antipolis, FR), IRBA, IRT, Joanneum Research (Graz, AU), ITA RWTH, Limsi (FR), Orange-Labs (FR), RWTH (D), Radio France, Trinity College Dublin (IRL)

ÉQUIPE

–

T. Carpentier (CNRS), M. Geier, L. Hobeika (thèse), N. Matos Rocha (thèse), M. Noisternig, D. Poirier-Quinot, I. Viaud-Delmon (CNRS), O. Warusfel.

ÉQUIPE PERCEPTION ET DESIGN SONORES

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 pour mieux comprendre les processus cognitifs mis en jeu, d'une part, par l'identification d'une source sonore, et, d'autre part, par 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 de nos travaux a été récompensé en 2014 par l'obtention du Décibel d'Or Recherche, décerné par le Conseil national du bruit.

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) dans le cadre de différents projets. Les projets de création sont de trois types : industriels (télécommunications, automobile et luxe) ; 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 ;
• des formations professionnelles combinant cours et réalisation d'un projet en lien avec le département Pédagogie de l'Ircam.

PRINCIPALES THÉMATIQUES ET PROJETS ASSOCIÉS EN COURS

–

- Sonie (loudness) des sons non-stationnaires et multi-sources (LoudNat, p. 67, MoUVie, p. 66)
- Analyse et caractérisation perceptives d'environnements sonores complexes (ANR Houle, p. 37, MoUVie, p. 66)
- Son, imitation et identification (Skat-VG, p. 65)
- Son et interactions (Legos, p. 47)
- Son et émotions (CREAM, p. 64)
- Signalétique sonore et IHM (RoadSense, p. 67)
- Outils et méthodes (thèse SNCF, SkAT-VG, p. 65).

DOMAINES DE COMPÉTENCE

–

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

COLLABORATIONS

–

TU-Berlin (Berlin, Allemagne), J. Gutenberg Universität (Mainz, Allemagne), McGill University (Montréal, Canada), University of Canberra (Canberra, Australie), IUAV (Venise, Italie), Politecnico di Torino (Turin, Italie), Carnegie Mellon University (Pittsburgh, PA), KTH (Stockholm, Suède), Lund Universitet (Lund, Suède), ZHdK (Zurich, Suisse), LVA-INSA (Lyon), LMA-CNRS (Marseille), CR-ICM (Paris), LAM (Paris), LAPPS (Paris), Ebam TALM (Le Mans), ENSCI (Paris), université de Strasbourg, Centre d'études techniques de l'équipement (Paris), IFSTTAR (Marne-la-Vallée), Renault, PSA, SNCF, EDF, Klaxon, LAPS-Design, Genesis, Aximum, Univers Sons, Région Île-de-France.

ÉQUIPE

–

Chercheurs permanents : J.-J. Aucouturier (CNRS), O. Houix, N. Misdariis, P. Susini
Sur projet : L. Goupil, M. Liuni (CREAM), M. Vannier (MoUVie), E. Ponsot (CREAM)
Doctorants : R. Leiba, L. Rachman.

ÉQUIPE ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SONS

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, la théorie de l'information, les techniques d'apprentissage et 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 COMPÉTENCE

–

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

PRINCIPALES THÉMATIQUES

–

- Modèles de signaux (cf. analyse et synthèse additive, traitements par vocodeur de phase, p.25, projets Sample Orchestrator 1 & 2, Physis, p. 50, 29), A. Roebel
- Caractérisation des sons (cf. projets Cuidado, Ecoute, Music Discover, indexation automatique, p. 33, SkAT-VG, p. 65, projets ABC_DJ, MIReS, p. 35, Quaero, p. 34, 3DTVs, p. 37, Semantic HiFi, p. 37), G. Peeters
- Analyse, transformation et synthèse de la voix et de la parole (cf. projets Chanter, Voice4Games, Rhapsodie, Angel Studio, Respoken, Affective avatars, Vivos, p. 28, 29), A. Roebel, N. Obin
- Analyse de scènes sonores (cf. transcription automatique, projets 3DTVS, Houle, p. 31, 32), A. Roebel
- Plateformes expérimentales robotisées, (cf. projet ROUTE p. 36)
- Logiciels : Diphone Studio, SuperVP (p. 74), Audiosculpt (p. 75), IRCAMLab TS (p. 76), The Snail-Absolute Tuning (p. 76), A. Roebel, F. Cornu, C. Picasso

COLLABORATIONS

–

Aalto University (Finland), Ableton (Allemagne), Acapela Group, Acoustic Research Institute (Autriche), AudioGaming, Arte, Artipolis (Luxembourg), Dualo, École des Mines de Paris, Exalead, ExeQuo, France Télécom R&D / Orange, Flying Eye (Allemagne), Game Audio Factory, Genesis SA, HHI Berlin (Allemagne), Idol, INESC, ISAE-SUPAERO, ISIR/UPMC, IUAV (univ. de Venise, Italie), Kantar Media, KTH (univ. de Stockholm, Suède), LIMSI, LMA Marseille, LIA (univ. d'Avignon), LPL (Laboratoire Parole et Langage) - Hôpital La Conception, NuHag (Univ. Of Vienna, Autriche), OFAI, ParisTech, QMUL, Queen Mary University (Grande-Bretagne), SCREAM National Cheng Kung Univ. (Taïwan), Sky Deutschland (Allemagne), Smartlog, Smartsound, Stupeflix, Ubisoft, UPF/MTG (Espagne), Univ. d'Alberta (Canada), Univ. Huddersfield (Royaume-Uni), univ. Paris-8, Univers Sons (UVI), Viddiga, Vizion'R, Voxygen, Xtranormal (Canada), Yacast.

ÉQUIPE

–

L. Ardaillon (thèse), D. Bouvier (thèse), M. Bru, H. Caracalla (thèse), A. Cohen-Hadrian (thèse), F. Cornu, D. Fourer, C. Jacques (thèse), R. Mignot, N. Obin (UPMC), G. Peeters, C. Picasso, A. Roebel.

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.

THEMATIQUES ET PROJETS ASSOCIES :

–

- 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
- Projet iMuSciCA (cf. p. 26)
- Projet UMN (réseau Unfold Mechanics Network)
- Projet INFIDHEM (Systèmes interconnectés de dimension infinie pour les milieux hétérogènes)
- Acoustique instrumentale (cf. projet Cagima, p. 26 ; PAFI, p. 27 ; Lutherie augmentée et SmartInstruments, p. 26 ; Imarev, p. 27)
- Logiciels : Modalys, p. 77 ; The Snail, p. 76

DOMAINES DE COMPETENCE

–

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 (France), Cambridge University (UK), C2RMF-Louvre (Paris), Centre Bernoulli-EPFL (Suisse), EPCC-Edinburgh Univ. (UK), GIPSA-lab (Grenoble), IJLRA- UPMC (Paris), IMJPRG-UPMC (Paris), Imperial College London (UK), ISAE-Sup'Aéro (Toulouse), LAGEP-université Lyon-1, LaSiE-université de la La Rochelle, LEOPOLY (Hongrie), LMA-CNRS (Marseille), LMD-ENS (Paris), Mines ParisTech (Paris), NTNU (Trondheim, Norvège), Thalès Group (France)

ÉQUIPE

–

J. Bensoam, D. Bouvier (thèse), R. Caussé, D. Chalabi (contrat par apprentissage, CNRS), T. Hélie (CNRS), M. Jossic (thèse), T. Lebrun (thèse), R. Muller (thèse), R. Piéchaud, D. Roze (CNRS).

ÉQUIPE REPRÉSENTATIONS MUSICALES

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 la création comme vers l'analyse musicale.

Sur le versant création, on a pu constater, depuis que les logiciels en question ont pu être diffusés vers une communauté importante de musiciens, 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, et ses générateurs algorithmiques.

Il est à noter que les œuvres ainsi élaborées contiennent, pour une part, leur propre analyse structurelle.

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 (dans le cadre d'une équipe projet Inria), ainsi que l'ingénierie des agents intelligents capables d'écoute, d'apprentissage et d'interaction musicales dans les contextes improvisés.

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

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

–

- Composition assistée par ordinateur (composition assistée, aide à l'orchestration, p. 55, 56)
- Contrôle de la synthèse et de la spatialisation, systèmes créatifs pour l'écriture du temps, du son, de l'espace et de l'interaction (p. 57)
- Mathématique et musique (p. 60)
- Langages informatiques pour la musique (p. 55)
- Modélisation du style, dynamiques de l'interaction improvisée (Interactions musicales improvisées, DYCI2, p. 51)
- Nouvelles interfaces pour le compositeur et le pédagogue
- Musicologie et analyse computationnelles
- Recherche efficace de séries temporelles (p. 36)
- Écriture du temps synchrone (p. 52)
- Projet EfficacE, Projet Inedit (p. 53)
- Composition assistée par ordinateur (p. 54)
- Écriture du son et de l'espace (p. 57)
- Papier augmenté pour la CAO (p. 58)

DOMAINES 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 pour le temps synchrone.

COLLABORATIONS

–

Bergen Center for Electronic Arts (Norvège), CIRMMT/ McGill University (Canada), City University London, CNSMDP, Columbia New York, CNMAT/UC Berkeley, Electronic Music Foundation, Gmem, Grame Lyon, École normale supérieure Paris, EsMuC Barcelone, Harvard University, Inria, IReMus – Sorbonne Paris-4, Jyvaskyla University, univ. de Bologne, USC Los Angeles, université Marc Bloch Strasbourg, Pontificad Javeriana Cali, université Paris-Sud Orsay, université de Pise, UPMC Paris, UCSD San Diego, Yale, U. Minnesota, U. Washington.

ÉQUIPE

–

C. Agon (UPMC - OpenMusic, écriture du temps, MISA), M. Andreatta, (CNRS, MISA), G. Assayag, J. Blondeau (thèse en composition), J. Bresson (OpenMusic, contrôle de la synthèse, Musique Lab 2), A. Chemla-Romeu-Santos (thèse), K. Deguernel (thèse), P. Esling (UPMC, orchestation dynamique), G. Genuys (thèse), J.-L. Giavitto (CNRS/ MuTant-langages), F. Jacquemard (Inria), F. Le Bel (thèse), L. Morciano, J. Nika, C. Poncelet, M. Malt (composition), K. Haddad (Composition), L. Crestel (thèse orchestration), D. Ghisi (thèse composition), M. Magalhaes (post-doc composition), M. Sirbu (thèse), P. Talbot (thèse).

Chercheurs associés : M. Ayari (u. Strasbourg), G. Bloch, C. Rueda.

ÉQUIPE ANALYSE DES PRATIQUES MUSICALES

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, 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 compositon 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 hypermédias, courts-métrages documentaires, enseignement et conférences, etc.) .

PRINCIPALES THÉMATIQUES

–

- Analyse de la composition (cf. projets MuTeC, p. 62, Gemme, p. 60)
- Analyse de l'interprétation
- Pratiques d'écoute contemporaines
- Pratiques d'écoute et d'analyse musicale : approche historique
- Musicologie & sciences humaines/travaux de synthèse (cf. théories de la composition musicale au XX^{e} siècle, p. 60)
- Outils de publication multimédia pour la musicologie, p. 61, projet Wave, p. 62
- Projet Wasabi, p. 33

COLLABORATIONS

–

Centre de recherches sur les arts et le langage (EHESS, CNRS), CEAC/université de Lille-3, Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris, Haute école de musique/conservatoire de Genève, Institut des textes et manuscrits modernes (CNRS-ENS Ulm), OICCM/université de Montréal.

ÉQUIPE

–

B. Bacot (thèse), O. Baudry (thèse), C. Cannone (CNRS, N. Donin, L. Feneyrou (CNRS), G. Pellerin.

ÉQUIPE INTERACTION SON MUSIQUE MOUVEMENT

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 ou encore dans des domaines industriels de l'audionumérique.

PRINCIPALES THÉMATIQUES

–

• 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. 44).

• 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. 30).

• 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. 49).

PROJETS NATIONAUX ET EUROPÉENS

-

- Legos (p. 47)
- COSIMA (p. 45)
- SkAT-VG (p. 65)
- Rapid-Mix (p. 45)
- MusicBricks (p. 46)
- Interlude (p. 48)
- Topophonie (p. 30)
- Same (p. 49)
- Sample Orchestrator, Sample Orchestrator 2 (p. 55, 29)
- Wave (p. 62)
- ISMES (LabexSMART)
- SENSE (LabexSMART)

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

–

Goldsmiths University of London (Royaume Uni), Phonotonic, (Paris), université McGill (Canada), CNMAT Berkeley (États-Unis), université de Gênes (Italie), ENSCI (Paris), Limsi (université Paris-Sud), ENSAD (Paris), Grame (Lyon), ICk Amsterdam, Atelier des Feuillantines (Paris), association Puce Muse (Rungis), Univers Sons/Ultimate Sound Bank (Paris), Cycling'74 (États-Unis), Da Fact (Paris), Voxler (Paris), No Design (Paris), HKU (Hilversum), UserStudio (Paris), Phonotonic (Paris), BEk (Norvège), IEM (Autriche), STEIM (Amsterdam), PSA (France), université Pompeu Fabra (Espagne), Nokia Res. Center (Finlande), Tkk (Finlande), KTH (Suède), UCL (Royaume-Uni), UCSD (États-Unis).

ÉQUIPE

–

P. Antoniadis (thèse), F. Bevilacqua, R. Borghesi, B. Caramieux, M. A.Suarez-Cifuentes (thèse), B. Matuszewski, J. Larralde, K. Sanlaville (thèse), D. Schwarz, N. Schnell, H. Scurto (thèse), M. Tarabella, Y. Zeitoun (thèse).

3

LES PRINCIPAUX PROJETS DE RECHERCHE

SYNTHÈSE ET TRAITEMENT SONORES

MODÉLISATION PHYSIQUE

PROJET IMUSCICA

–

Équipe concernée : S3AM
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'Ircam 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.

LUTHERIE AUGMENTÉE

–

Équipe concernée : S3AM

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.

PROJET CAGIMA

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

–

Équipes concernées : S3AM, 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 corréler 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 aboutit, après un processus d'optimisation, à la fabrication de prototypes jouables d'instruments.

PROJET IMAREV

Instruments de musique actifs avec réglages virtuels

–

Équipe concernée : S3AM
Financement : ANR, programme retour post-doc
Période de réalisation : octobre 2011 - septembre 2014
Collaborations : Institut d'Alembert - université Pierre et Marie Curie, Open University (Royaume-Uni)

Au cours des cinquante dernières années, les sciences et technologies de la musique ont permis de créer et contrôler des nouveaux sons à partir de synthétiseurs. Pourtant, des centaines de millions d'instruments acoustiques sont toujours utilisés dans le monde. En effet, l'interaction avec les claviers numériques et la diffusion par des haut-parleurs est relativement pauvre comparée aux subtilités des instruments de musique acoustiques. Une famille d'instruments de musiques innovants s'est développée ces dernières années, appelée « instruments hybrides ». Leur principe est basé sur l'utilisation d'instruments acoustiques contrôlés par feedback avec des traitements et de la synthèse sonore, en vue d'étendre les possibilités sonores des instruments. Le son final est ainsi hybride. Il provient de la superposition de la vibration acoustique (ou mécanique) et de son traitement numérique. Les instruments hybrides ont un avantage important sur les synthétiseurs : l'interface avec le musicien reste l'instrument acoustique, tout en incluant les potentialités de la synthèse sonore. Pourtant, les instruments hybrides ne sont pas aussi diffusés que les synthétiseurs. En effet, il n'y a pas encore de méthodologie et d'outils unifiés pour la conception et la fabrication d'instruments hybrides. Le but de ce projet est de développer des modèles, algorithmes et dispositifs permettant la création d'instruments actifs optimisés, de manière unifiée. Les modèles intègrent des « réglages virtuels » qui sont des paramètres déduits de la connaissance et des réglages des fabricants d'instruments. Ceci permet un contrôle intuitif par les musiciens ainsi qu'une simplification de la complexité de la conception des Instruments Actifs. La qualité de la modélisation des « réglages virtuels » a été évaluée à partir de la synthèse sonore par modèle physique et ensuite incorporée dans les instruments hybrides. En plus de l'application à la création musicale, ce projet a permis de créer des instruments avec une qualité « réglable » utilisant un traitement numérique après la fabrication. Il a comporté un volet de recherche fondamentale, avec des applications à la création musicale, la fabrication des instruments de musique et au domaine du contrôle actif.

PROJET PAFI

Plateforme modulaire d'aide à la facture instrumentale

–

Équipes concernées : S3AM, Atelier mécanique
Financement : ANR, programme Contenus et interactions
Période de réalisation : décembre 2008 - mai 2013
Partenaires extérieurs : Laboratoire d'acoustique de l'université du Maine (Laum, Le Mans coordinateur), Télécom ParisTech, ESEO Angers, Itemm Le Mans.

Ce projet a proposé une démarche partenariale ambitieuse et totalement originale entre des laboratoires de recherche, un pôle national d'innovation des métiers de la musique et un collectif d'artisans-luthiers agissant au nom d'associations professionnelles de la facture instrumentale, représentatif du tissu des micro-entreprises françaises.
Il s'agissait de répondre à la problématique de la reproduction et de l'optimisation de la conception d'instruments de musique haut de gamme, caractéristiques de la lutherie française sur le marché mondial.
PAFI s'est donc attaché à la mise en œuvre d'outils de caractérisation et de prédiction acoustique dédiés à l'analyse et au prototypage virtuel des instruments.
Ainsi, ont été réalisés la mise au point d'un dispositif expérimental de caractérisation de la justesse de l'instrument par un dispositif de mesure d'impédance d'entrée, le développement d'un outil prédictif de justesse, et, dans le cadre de la thèse de Pauline Eveno, la mise en place d'une méthodologie du contrôle et de l'innovation avec les facteurs, en s'appuyant sur les outils du module développés par les autres partenaires et en prospectant vers des outils plus en amont (bancs d'essai tels que des bouches artificielles et les simulations par modèle physique des instruments en situation de jeu).

MODÈLES DE SIGNAUX

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.

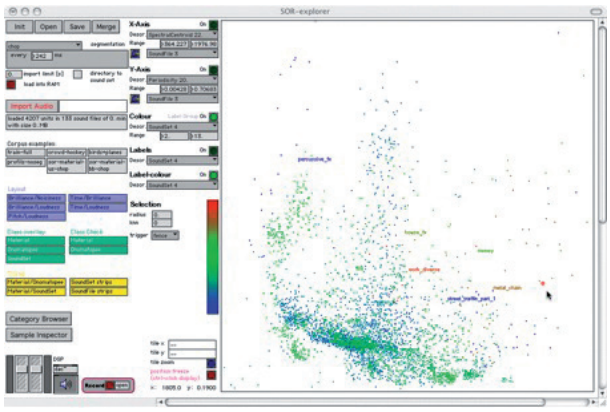
SYNTHÈSE CONCATÉNATIVE PAR CORPUS

–

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 gestuels.



Exemple de visualisation de synthèse concaténative

PROJET PHYSIS

Modélisation, transformation, et synthèse de sons pour les mondes virtuels interactifs

–

Équipes concernées : Analyse et synthèse des sons, Interaction son musique mouvement
Financement : ANR, programme Contenus et interactions
Période de réalisation : avril 2012 - avril 2015
Partenaires extérieurs : Audio Gaming, LMA, Game Audio Factory

Physis est un projet de recherche industriel centré sur la modélisation, la transformation et la synthèse des sons diégétiques pour les mondes virtuels interactifs (jeux vidéo, simulateurs, serious games) et la réalité augmentée.
Par sons diégétiques, nous entendons tous les sons générés par des objets identifiables dans la scène virtuelle (par exemple les bruits d'armes, de liquides, de feu, d'eau, de tissus, etc.) et leurs interactions possibles : impacts physiques, frottements, glissements, roulements…
Physis considère la production de contenu sonore interactif dans son ensemble et de façon systémique. Il couvre en effet la totalité des étapes nécessaires à la réussite d'un tel challenge : depuis la recherche fondamentale indispensable pour une bonne modélisation des phénomènes sonores, jusqu'à la production de code embarquable dans des consoles de jeu ou du matériel spécifique. Physis prévoit également la création d'outils utilisables par des sound designers, l'analyse et la transformation de fichiers sonores, la création de contrôles sémantiques et physiques de haut niveau ainsi que leur mise en situation interactive.

Les principaux résultats du projet ont conduit à :

- des avancées significatives dans la modélisation des propriétés acoustiques des sons du corpus ciblé ;
- des modèles de synthèse et de nouvelles stratégies destinés à créer et transformer les sons de façon interactive avec des commandes sémantiques et/ou physiques ;
- des démonstrateurs technologiques qui mettent en avant ces innovations.

L'émergence récente de jeux vidéo complexes et des univers virtuels, comme « Second Life », a fait apparaître les limites des moteurs son actuels, qui utilisent des sons préenregistrés alors que l'image de synthèse est, elle, calculée en temps réel. Par ailleurs, l'utilisation de modèles physiques permet un comportement graphique plus réaliste, plus complexe et plus varié, mais ces derniers n'ont qu'une faible incidence sur les comportements sonores basés sur des fichiers préenregistrés. Or, la montée en puissance du matériel a rendu possible la simulation précise des propriétés audio et acoustiques des bruits quotidiens basés sur des paramètres physiques.
De plus, de nouvelles interfaces sont maintenant incluses dans les smartphones, tablettes, consoles de jeux vidéo et sont en train de permettre une révolution dans la façon dont nous accédons à l'information numérique. Ces dispositifs sont sous-exploités d'un point de vue sonore car la lecture de sons préenregistrés ne permet pas une interaction correcte avec ce type d'interface. La synthèse audio en temps réel est ainsi parfaitement adaptée à ces nouvelles interfaces et aux usages qui en découlent.
En conclusion, Physis a permis de créer une base scientifique et technologique solide pour répondre à l'ensemble de ces nouveaux besoins.

PROJET SAMPLE ORCHESTRATOR 2

–

Équipes concernées : Analyse et synthèse des sons, Espaces acoustiques et cognitifs, Représentations musicales, Interaction son musique mouvement
Financement : ANR, programme Contenus et interactions
Période de réalisation : novembre 2010 - octobre 2013
Partenaires extérieurs : société Univers Sons, Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris
Coordinateur : Ircam

Cette suite du projet Sample Orchestrator a visé la constitution de fonctions nouvelles destinées aux échantillonneurs logiciels de nouvelle génération, selon trois aspects complémentaires :

- Techniques hybrides de synthèse sonore en temps réel, intermédiaires entre modèles de signaux conçus pour tous types de sons et sons échantillonnés et bénéficiant des variations rendues possibles par la paramétrisation des premiers et de l'efficacité des seconds. Il s'agit plus particulièrement de dégager des modèles spécifiques à chaque famille d'instruments ;
- Techniques hybrides de spatialisation sonore en temps réel, intermédiaires entre les modèles paramétriques tels que celui du Spat de l'Ircam, et la convolution des signaux par des réponses impulsionnelles mesurées dans des salles. Ici encore, l'enjeu est de constituer des modèles représentant les meilleurs compromis en termes, d'une part, de variabilité et qualité, d'autre part, d'efficacité de calcul ;
- Méthodes de voicing et d'orchestration en temps réel, fournissant une extension du jeu instrumental en fonction de méthodes d'orchestration modélisées et/ou apprises dans différents corpus musicaux.

L'ensemble des objectifs du projet se situait au-delà de l'état de l'art de la recherche et le projet, par l'étroite synergie qu'il a mis en œuvre entre les différentes équipes de l'Ircam et partenaires extérieurs, a produit des avancées importantes dans les champs de la recherche et des technologies musicales (modélisation des instruments, nouvelles techniques de spatialisation et analyse/synthèse des champs sonores, synthèse générative à partir de corpus musicaux).

PROJET TOPOPHONIE

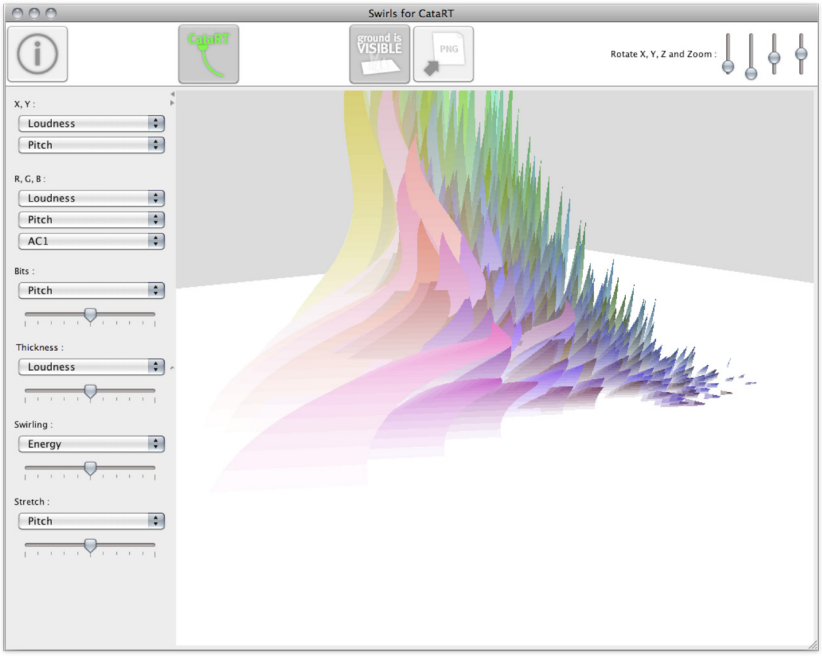
www.topophonie.fr

–

Équipe concernée : Interaction son musique mouvement
Financement : ANR, programme Contenus et interactions
Période de réalisation : septembre 2009 - décembre 2012
Collaboration : ENSCI Les Ateliers (coordinateur), Limsi-CNRS, université Paris Sud-11, Orsay, Navidis, ORBE, UserStudio

Nous nommons topophonies des espaces virtuels navigables composés d'un ensemble d'objets sonores et/ou audiographiques.
Le terme audiographique désigne des formes graphiques et sonores dans lesquelles les modalités visuelle et sonore sont synchronisées. On sait bien rendre des scènes composées d'éléments graphiques et sonores ponctuels (points, objets), en réalité virtuelle et dans les jeux vidéo. En revanche, il n'y a pas d'outil permettant la navigation et le rendu interactif de scènes comportant des éléments visuels et sonores en très grands nombres et dispersés tels qu'une foule, un flux de circulation automobile, un hall de machines, un feuillage ou une pluie.

Le projet de recherche Topophonie a proposé des directions de recherche et de développement innovantes pour la navigation sonore et visuelle dans des espaces composés d'éléments sonores et visuels multiples et disséminés. En faisant travailler une équipe scientifique pluridisciplinaire (audio numérique, image de synthèse, design sonore) et des entreprises spécialisées dans le domaine des rendus multimédias interactifs, le projet Topophonie conçoit et développe des modèles, des interfaces et des rendus audiographiques navigables d'ensembles d'objets granulaires, animés et spatialisés.
L'équipe du projet est composée de chercheurs spécialisés en rendu sonore granulaire et en rendu graphique avancé interactif, de designers numériques et d'entreprises spécialisées dans les domaines d'applications concernés.
Les travaux réalisés fournissent des interfaces de définition et de contrôle de scènes multimédias et des outils de rendu temps réel sur les canaux audio et visuels synchronisés.
Les premières réalisations étaient l'installation de réalité augmentée audio Topophonie Mobile du festival Futur en Seine, permettant une balade géolocalisée dans un parc public augmenté par une ambiance acoustique autour du thème de l'eau avec l'application Navidium de cartographie numérique interactive audiographique. Topophonie Mobile a reçu le Grand Prix de l'Innovation de la Ville de Paris 2013 (mention spéciale Design).
Les autres points forts de la recherche sont la conception d'une nouvelle méthode de synthèse de textures sonores, et la diffusion des savoirs en deux workshops internationaux sur la modélisation audiographique, organisés par le projet en 2011.



Visualisation d'un corpus de sons dans Swirls for CataRT (Matthieu Savary, Diemo Schwarz).

VOIX

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 VOICE4GAMES

Traitement de la voix pour la production de jeux vidéo

–

Équipes concernées : Analyse et synthèse des sons, Interaction son musique mouvement
Financement : FEDER, Région Île-de-France, Pôle Cap Digital
Période de réalisation : novembre 2011 - octobre 2014
Partenaires extérieurs : ExeQuo, Voxler, Cyanide

Le projet Voice4Games visait à la conception et la réalisation de solutions technologiques nouvelles dans le domaine du traitement de la voix pour la production (interaction temps réel) et la post-production de jeux vidéo.
Dans un contexte d'explosion du marché du jeu vidéo, le consortium Voice4Games s'est formé pour répondre aux demandes d'analyse, de transformation, et d'indexation de contenu audio de voix parlée et chantée.
Les innovations du projet Voice4Games ont visé à enrichir et élargir l'éventail de services de traitement vocaux dans les secteurs de la production audio de la voix, dans une synergie de l'indexation et de la transformation de la voix en production temps réel et en post-production.
Les principales innovations concernent :

- L'homogénéisation de la qualité audio de la voix multilingue ;
- La recherche de voix par similarité pour le casting vocal multilingue ;
- L'intégration des nouvelles technologies audio/vidéo (Kinect) pour l'interaction vocale en temps réel (commande vocale, voix chantée).

Le rôle de l'Ircam au sein du projet Voice4Games a été d'impulser et de coordonner les recherches sur l'analyse/indexation/transformation de la voix avec les partenaires ExeQuo, Voxler, et Cyanide pour l'enrichissement des applications de traitement de la voix dans les secteurs de la production et de la post-production de jeux vidéo.

PROJET ANGEL STUDIO

Générateur d'avatars personnalisés

–

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons
Financement : FEDER-DRIRE Cap Digital Île-de-France
Période de réalisation : mars 2009 - juin 2013
Partenaires extérieurs : As An Angel, SoBuzzy, Télécom SudParis

Le projet Angel Studio avait pour objectif de développer un générateur d'avatars permettant de produire à partir de photos et d'échantillons de voix – correspondant à un utilisateur donné – un avatar de ce dernier, sous la forme d'un visage 3D photo réaliste, animé en temps réel et doté d'une voix de synthèse paramétrable.
L'objectif scientifique du projet était de parvenir à une reproduction de l'animation faciale et de la voix d'un utilisateur avec un niveau de simulation correspondant au seuil d'acceptabilité pour les utilisateurs.
L'objectif industriel du projet était d'intégrer ce générateur aux solutions développées par les deux PME du consortium : As an angel et SoBuzzy.
Le développement du marché des agents conversationnels ainsi que de celui du Web3D se heurte à la dure réalité du seuil d'acceptabilité de l'utilisateur final. De nombreux projets et études, conduits notamment par As An Angel (projet Agent conversationnel expressif), le laboratoire informatique de Grenoble (ex CLIPS) et le réseau d'excellence HUMAINE, ont montré que ce seuil, qui peut certes varier d'une culture à une autre, reste globalement très élevé. En effet, les attentes des utilisateurs, modelées notamment par la littérature et le cinéma de science-fiction, correspondent à une simulation crédible de l'humain, tant au niveau des capacités de dialogue qu'à celui de la représentation et l'animation d'un visage et d'un corps de synthèse.
Le projet Angel Studio visait donc à permettre à des agents conversationnels ou à des avatars d'atteindre le seuil d'acceptabilité pour deux modalités de communication :

- L'animation faciale expressive de visages « photo-réalistes »
- La simulation crédible d'une voix humaine expressive.

L'Ircam prend en charge le développement et la fourniture d'algorithmes de conversion d'identité de voix, et la fourniture d'algorithmes de transformation d'expressivité de voix, des phrases synthétisées par un système de synthèse à partir de texte (TTS) du marché ou par celui de l'Ircam (Ircam TTS).

PROJET RHAPSODIE

Corpus prosodique de référence en français parlé

–

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons
Financement : ANR, programme SHS
Période de réalisation : janvier 2008 - juin 2012
Partenaires extérieurs : Laboratoires MoDyCo-université Paris-10 UMR 7114, LATTICE UMR 8094, CLLE université Toulouse-2 UMR 5263, LPL université de Provence UMR 6057

Le projet Rhapsodie était consacré à l'élaboration d'un corpus prosodique de référence en français parlé, échantillonné en différents genres discursifs.
Outre les annotations prosodiques, le corpus est doté d'annotations syntaxiques et informationnelles exploitables pour l'analyse de ses relations avec la syntaxe et du statut de la prosodie dans le discours (mise en place de la structure communicative, gestion des tours de parole). La question du standard d'annotation est donc là une question majeure. Les objectifs complémentaires des partenaires associés à ce programme s'orientaient autour de sept axes :

- Mise au point de formats pour l'annotation et la lecture des données intonosyntaxiques dans une perspective d'interopérabilité et d'échange ;
- Mise à disposition au sein de la communauté scientifique de ressources de français parlé alignées (30 heures de parole) dont 20 % auront été annotées prosodiquement (adaptation des conventions de transcription de la TEI, format XML) ;
- Distribution en ligne d'outils pour traiter et analyser ces ressources avec manuels d'utilisation exhaustifs ;
- Développement de méthodes linguistiques raisonnées et explicitées pour l'interprétation et la génération des structures ;
- Enrichissement des modèles intonosyntaxiques du français parlé ;
- Contribution à l'amélioration de la prosodie en synthèse de la parole ;
- Organisation à l'issue du programme d'un colloque international sur le thème de l'interface prosodie-discours qui nous a permis d'exposer nos résultats, de les confronter aux travaux des équipes reconnues internationalement dans le domaine et de faire le point sur les modèles prosodiques.

INDEXATION ET MOTEURS DE RECHERCHE

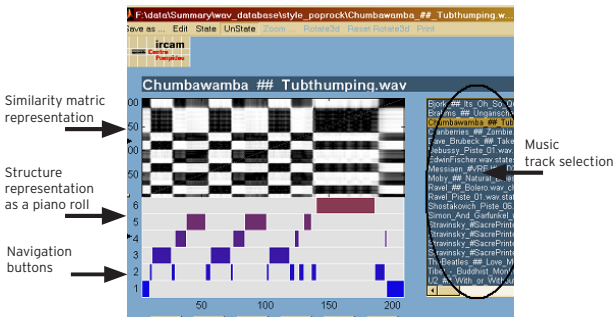
INDEXATION AUTOMATIQUE DE MORCEAUX DE MUSIQUE

–

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.



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

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 : Agence nationale de la recherche, 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'entité 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 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'Ircam 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 BEE MUSIC

–

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons
Financement : Fonds national pour la société numérique
Période de réalisation : janvier 2013 - décembre 2015
Partenaires : Kantar Media (coordinateur), LTU Technologies, Smartjog, Idol, Sinequa

BIPP est la Base de données interprofessionnelle des producteurs phonographiques. Détenue par le SNEP (Syndicat national de l'édition phonographique) en partenariat avec l'UPFI (Union des producteurs phonographiques français indépendants), sa gestion a été confiée à Kantar Media en 2008. Sa vocation est de référencer tous les catalogues digitaux et physiques actifs sur le marché français. BIPP référence actuellement 2,5 millions de titres.

L'objectif du projet, associant Kantar Media (sous l'égide du SNEP et de l'UPFI) à un consortium d'acteurs académiques et privés est de doter la base musicale BIPP de toutes les qualités qui la valideront définitivement auprès des professionnels de la filière musicale :

- Exhaustivité et homogénéité ;
- Identification univoque du contenu,
- Richesse et automatisation de l'indexation ;
- Variété des angles de recherche et de recommandation, avec un accent particulier sur la critérisation musicologique, visuelle et sémantique en plus des critères contextuels usuels ;
- Simplicité et profondeur des interfaces pour permettre une exploitation des données adaptée à des usages métier ciblés.

Seul laboratoire public associé au projet, l'Ircam est en charge d'y mener les recherches, dans le domaine de la recherche d'information musicale (*music information retrieval*) visant à extraire automatiquement les caractéristiques attendues des morceaux de musique à partir de l'analyse de leurs enregistrements sonores : sélection d'extrait représentatif, genre et humeur, identifiant unique, etc.

Bee Music présente un caractère structurant car, pour la première fois, les travaux de recherche réalisés par les acteurs du consortium depuis plus de dix ans pourront être mis à l'échelle, au sein d'une base réellement opérationnelle de millions de titres.

En plus de l'aspect technique, l'intérêt pédagogique de fournir une base musicale riche est central. Au-delà de la cible des professionnels de la filière musicale, le grand public sera directement bénéficiaire des travaux de Bee Music grâce à la richesse d'information mise en ligne par les professionnels qui créeront des services B2C à partir de BIPP.

PROJET QUAERO

–

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons
Financement : Agence pour l'innovation industrielle (OSEO)
Période de réalisation : janvier 2008 - décembre 2013
Partenaires : Technicolor (coordinateur), France Télécom, Ina, Exalead, Yacast, Bertin, LTU Technologies, Synapse et Vecsys CNRS (Inist, Limsi, Immi), DGA, BNF, LNE, Inria, Institut Télécom, Irit, LIPN, Mig-Inra, université Joseph Fourier, université de Karlsruhe, université RWTH d'Aix-la-Chapelle

Quaero, doté d'un budget de 200 millions d'euros, est l'un des plus importants projets de R&D industriels français.
Quaero vise la conception et la réalisation de solutions technologiques nouvelles permettant l'extraction, l'analyse, la classification et l'exploitation d'informations dans les contenus numériques multimédia et multilingues, en se concentrant sur le traitement automatique de la parole, du langage, de la musique, de l'image, de la vidéo et des documents imprimés numérisés.
Dans un contexte d'explosion des informations numériques accessibles à tous via PC, télévision, ou terminaux de poche, le consortium Quaero a été créé pour répondre aux nouveaux besoins d'analyse de contenus multimédia en provenance du grand public et des professionnels. Il permettra aux multiples technologies de pointe dans ce domaine issues des laboratoires publics et privés en France et en Allemagne d'être pleinement exploitées au niveau industriel par des acteurs clés de ce secteur : PME de croissance et grands groupes industriels. Les développements de Quaero conduiront à l'enrichissement des services offerts par les portails, les moteurs de recherche, les applications pour la télévision interactive, les environnements professionnels pour la production ou la postproduction de contenus multimédia et la mise en ligne de bibliothèques de contenus numériques culturels (livres, films, émissions de télévision...).
Cinq grands domaines applicatifs sont visés :

- Recherches multimédia sur Internet ;
- Enrichissement des services d'accès aux contenus audiovisuels sur les portails ;
- Sélection et diffusion personnalisées de vidéos ;
- Gestion de ressources audiovisuelles professionnelles ;
- Numérisation et enrichissement des contenus des bibliothèques, du patrimoine audiovisuel et de l'édition scientifique.

Le rôle de l'Ircam dans le cadre du projet est de coordonner les recherches sur l'indexation musicale et de collaborer avec les industriels Exalead et France Télécom au développement des applications de recherche multimédia et d'enrichissement des services d'accès aux contenus audiovisuels.

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'Ircam 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.

PROJET MIRES

Roadmap for Music Information Research

–

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons
Financement : Commission européenne, programme ICT
Période de réalisation : octobre 2011 - mars 2013
Partenaires extérieurs : MTG, Stromatolite, OFAI, INESC Porto, QMUL, BMAT

Le projet MIReS est une action de coordination et de support du 7e programme de la Commission européenne.
Son objectif est d'élaborer un état de l'art et de proposer les directions du champ de recherche en Music Information Retrieval.
Le projet étudie notamment les challenges relatifs aux informations multimodales, multi-culturelles et pluridisciplinaires.

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 multidimensionelle 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.

PROJET ROUTE

Robot à l'écoute

–

Équipe concernée : Analyse et synthèse des sons

Financement : Programme Convergence de Sorbonne Universités 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.

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.

PROJET SEMANTIC HIFI

Browsing, Listening, Interacting, Performing, Sharing on Future Hifi Systems

–

Équipes concernées : Ingénierie des connaissances musicales, Analyse et synthèse des sons, Espaces acoustiques et cognitifs, Interaction son musique mouvement, Studio hypermédia
Financement : programme Information Society Technology (IST), 6e PCRD, Commission européenne
Période de réalisation : décembre 2003 – novembre 2006
Partenaires extérieurs : Fraunhofer Institut (IDMT, Erlangen), université Pompeu Fabra (Barcelone), Sony-CSL, université Ben Gourion (Israël), Native Instruments, Sony EuTEC,
Coordinateur : Ircam

Dans la continuité du projet Cuidado et dans le contexte de la distribution de musique numérique à grande échelle, le but du projet était de développer une nouvelle génération des thèmes de haute-fidélité, offrant de nouvelles fonctionnalités pour la navigation, l'interaction, le rendu, la personnalisation et l'édition du matériel musical.

Reposant sur la diffusion d'informations musicales enrichies au-delà des seuls enregistrements sonores, ainsi que sur la mise en œuvre d'outils d'indexation et d'interfaces de navigation personnalisés, le projet vise un changement radical des pratiques d'accès à la musique et d'écoute instrumentée, au point de brouiller les limites traditionnelles entre l'écoute et l'exécution.

Ces systèmes de haute-fidélité seront des stations d'écoute autant que des instruments ouverts et sont à même de constituer des vecteurs technologiques d'une nouvelle intelligibilité de la musique.

Principales fonctions visées :

- Classement personnalisé et navigation par le contenu entre morceaux de musique ; recherche par chantonnement ;
- Génération automatique de listes de morceaux à partir de critères globaux ;
- Spatialisation domestique des sons de très haute qualité avec compensation automatique du contexte d'écoute ;
- Navigation à l'intérieur de la polyphonie et mixage assisté ;
- Navigation à l'intérieur de morceaux de musique ;
- Outils d'édition et de composition personnalisés, application DJ ;
- Outils de jeu instrumental et vocal, accompagnement automatique ;
- Partage du travail d'indexation, de composition et de jeu sur réseaux peer-to-peer.

SPATIALISATION SONORE

ANALYSE-SYNTHÈSE DE CHAMPS SONORES

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.

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).

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, UPMC

La technique Wave Field Synthesis (WFS) désigne un procédé de reproduction holophonique qui permet, par analogie avec les hologrammes visuels, de capter 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 l'UPMC, 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.

PROJET 3DR3

Room Impulse Response Renderer

–

Équipes concernées : Espaces acoustiques et cognitifs, Département Création et Production

Le projet 3DR3 réunit l'équipe EAC (R&D) et l'équipe Son (Production) autour du développement d'un environnement générique de mixage multicanal (cf. logiciel Panoramix p. 82) 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) 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.

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 : décours non linéaire du contenu, navigation spatiale, adaptation au contexte d'écoute (rehaussement des dialogues, mobilité…).

Le projet ORPHEUS vise à développer et valider une chaîne de production audio complète basée sur l'approche « objet ». Dans le projet ORPHEUS l'Ircam s'occupera plus spécifiquement des aspects liés à la caractérisation, à la synthèse et à la transmission des effets de réverbération.

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

PROJET BILI

bili-project.org

–

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs
Financement : FUI
Période de réalisation : janvier 2013 - juin 2016
Partenaires extérieurs : France Télévisions (coordinateur), Orange, Radio France, LIMSI, Cnsmdp, Arkamys, A-Volute, DMS, Trinnov-Audio

Les appareils personnels (smartphones, tablettes) concentrent désormais de multiples fonctions et représentent l'un des principaux vecteurs de diffusion de contenus musicaux, d'émissions de radio ou de télévision. 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 tri-dimensionnelles et immersives. Cependant, la dépendance individuelle des fonctions de transfert d'oreille (HRTF) à la base de la technologie binaurale a jusqu'à présent limité sa diffusion grand public. Le projet BiLi vise à déployer des solutions d'écoute binaurale individualisée pour le grand public en s'appuyant sur un tissu de laboratoires de recherche, de PME et de diffuseurs (France Télévisions, Radio France, Orange). Les volets principaux du projet sont l'évaluation de la qualité d'expérience offerte par le mode d'écoute binaurale, la recherche et le développement de solutions d'individualisation évitant de recourir aux mesures fastidieuses en chambre anéchoïque et la définition d'un format d'échange des données binaurales préfigurant une standardisation au niveau international.

INTERACTION ET COGNITION SPATIALES

COGNITION SPATIALE AUDITIVE

–

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs

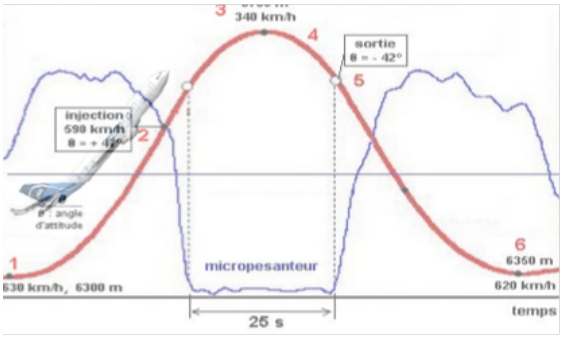
Dans le domaine de la reproduction sonore ou de la communication, les technologies audio futures tenteront de privilégier les sensations d'immersion et de présence. Ces notions sont intimement liées aux dimensions spatiales d'une scène multimédia et en particulier sonore, et sont notamment renforcées 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, 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.

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.
Évolution de la gravité (courbe bleue) pendant la trajectoire de l'avion (en rouge). Le participant est équipé d'un casque audio et du boîtier réponse, dans la condition sans informations visuelles. Les sangles permettent au sujet de flotter sans toutefois le laisser dériver dans l'habitacle.

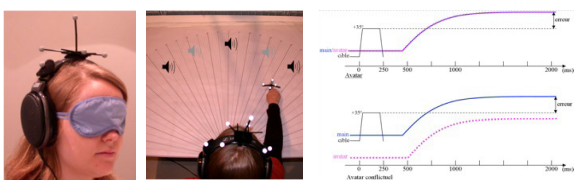
PROJET VERVE

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 (Royame-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 comportements 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 HC2

www.hcsquared.eu

–

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs
Financement : Commission européenne, programme Coordinating Communities, Plans and Actions in FET Proactive Initiatives
Période de réalisation : octobre 2010 - septembre 2013
Partenaires extérieurs : Starlab (coordinateur), Catholic University of Milan, Johannes Kepler Universität Linz

Les recherches sur la confluence entre l'homme et l'ordinateur sont faites dans le cadre de programmes ambitieux étudiant comment la relation symbiotique émergente entre les humains et les outils informatiques permet des formes radicalement nouvelles de perception, d'interaction et de compréhension. C'est un champ de recherche hautement multidisciplinaire, couvrant des disciplines aussi diverses que les sciences cognitives, l'informatique fondamentale et l'électronique. Le projet HC2 a mené une activité de coordination promouvant la construction d'une identité et proposant la définition de recherches futures et de programmes éducatifs. HC2 a atteint ses objectifs en construisant un point d'information central et en utilisant une méthodologie de travail basée sur la participation active de la communauté et la création d'évènements (2 écoles d'été, 2 workshops, une rencontre pour la création d'un ERA NET, une journée entreprises).

PROJET REVA

Réalité virtuelle et acouphène

–

Équipe concernée : Espaces acoustiques et cognitifs
Financement : Tinnitus Research Initiative (TRI), Société Amplifon
Période de réalisation : janvier 2008 - juin 2009
Partenaires extérieurs : université René Descartes, Hôpital européen Georges Pompidou

Cette étude s'est consacrée à l'élaboration et à l'évaluation d'une thérapie basée sur la réalité virtuelle pour le traitement des acouphènes qui désignent un ensemble de sensations auditives fantômes en l'absence de stimulation acoustique extérieure.
Le principe de l'étude a consisté à mettre les patients acouphéniques en situation de réalité virtuelle 3D (visuelle et auditive) pour favoriser la plasticité cérébrale et réduire la gêne induite par l'acouphène subjectif. En pratique, il s'agit de construire un avatar sonore et visuel de l'acouphène et de fournir au patient les moyens d'en contrôler la localisation dans l'espace, à la fois en direction et en distance.

GESTE ET INTERACTION

INTERACTION GESTUELLE

ANALYSE ET RECONNAISSANCE DU GESTE

–

Équipes concernées : 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. Des mesures ont par exemple été effectuées en collaboration avec McGill University sur des violonistes et trompettistes. Dans le cadre des instruments à cordes, les mouvements de l'archet, du violon ainsi que du corps entier de l'instrumentiste peuvent être mesurés en utilisant de la captation optique 3D.

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.

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 COSIMA

Médias collaboratifs situés

www.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 mobile 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 culturels, services publiques, 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 des nouveaux modèles économiques et 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 favorisera l'émergence et la structuration de communautés autour de ces nouveaux média. L'évaluation et sélection d'un modèle économique adapté à cette plateforme fait partie son développement.

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

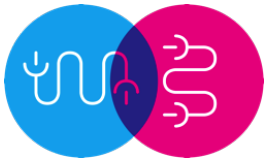
Période de réalisation : février 2015 — janvier 2018

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 PMEs participantes représente un aspect important du projet. Dans ce projet, l'Ircam 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 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 PMEs 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'Ircam 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 MIM

Enhancing Motion Interaction through Music Performance

–

Équipe concernée : Interaction son musique mouvement
Financement : Programme H2020 - Marie Sklodowska-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 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 (CNRS 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.

PROJET INTERLUDE

Nouveaux paradigmes numériques pour l'exploration et l'interaction gestuelle expressive avec des contenus musicaux

http://interlude.ircam.fr

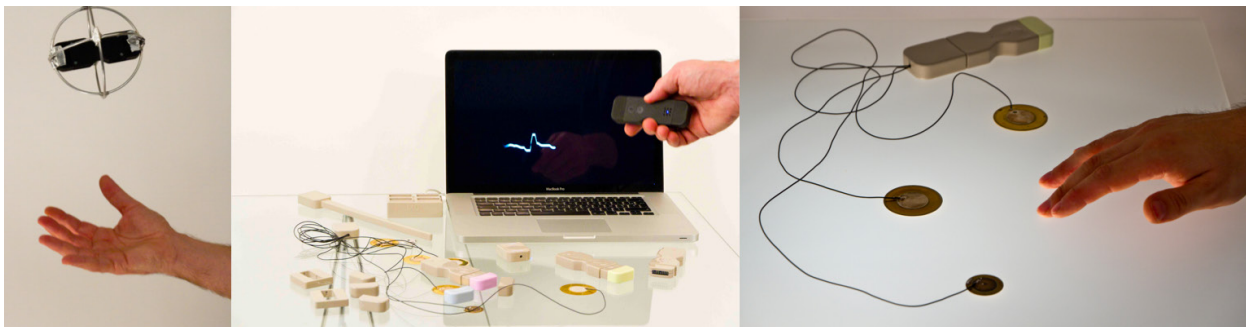
–

Équipe concernée : Interaction son musique mouvement
Financement : ANR, programme Contenus et interactions
Période de réalisation : décembre 2008 – juillet 2010

Ce projet touchait les trois axes de recherche de l'équipe Interaction son musique mouvement : paradigmes d'interactivité, modélisation multimodale et interfaces gestuelles collaboratives.
Les développements récents de l'informatique musicale permettent d'analyser, de traiter, de manipuler la musique et le son tant sur le plan du signal audio que sur le plan symbolique d'une partition. Ces traitements et manipulations sont en général effectués à l'aide d'interfaces classiques : clavier-souris ou éventuellement des interfaces de mixage avec des potentiomètres. De fait, les possibilités d'interagir gestuellement et corporellement, comme dans le cas d'instruments acoustiques, avec des éléments sonores numériques, restent encore peu exploitées.
Le but du projet Interlude était précisément d'explorer de nouveaux moyens d'expression musicale en couplant des systèmes de captation de geste modulaires, des logiciels innovants de synthèse sonore interactive, et des systèmes de visualisation dynamique. Les retombées attendues concernent à la fois la création artistique, la pédagogie musicale et le monde des jeux musicaux. Plus généralement, ce projet vise une communauté d'utilisateurs en plein essor, composée aussi bien de professionnels que du grand public, qui s'intéresse à une utilisation gestuelle et expressive des nouveaux outils numériques.

Les nouvelles interfaces musicales MO (Modular Musical Objects) issues du projet ont remporté le 1er prix du concours international Guthman 2011 des nouveaux instruments de musique. Ces interfaces ont fait partie de plusieurs expositions internationales, dont « Talk to Me » au Moma de New York, à la Biennale du design Saint-Etienne, Objet(s) du numérique - design d'un nouveau monde industriel, Lift Experience à Genève.
Les interfaces MO et les logiciels associés (MuBu, gesture follower) ont permis des applications concrètes, en particulier pour la pédagogie musicale. Celles-ci ont été appliquées avec succès par une école de musique, l'Atelier des Feuillantines.
De nouvelles formes de jeux musicaux ont également été créées, comme l'Urban Musical Game qui a été présenté au festival Futur en Seine 2011 (jeux de balles musicales).
Notons enfin que le projet a permis de faire émerger une start-up, Phonotonic, qui valorisera une partie de ces développements. Des valorisations industrielles spécifiques sont également en cours par les différents partenaires du projet.
Le projet a d'ores et déjà fait l'objet de plus de 17 communications scientifiques, comprenant des journaux scientifiques et des actes de conférences nationales et internationales, de nombreuses communications dans la presse (écrite et Internet) ainsi que de plusieurs présentations publiques en Europe, aux États-Unis et en Asie.

Le projet a reçu le prix ANR du numérique dans la catégorie « impact sociétal » en 2013.



Les interfaces MO - Modular Musical Objects dans différents cas d'usage (photos : nodesign.net).

INSTRUMENTS AUGMENTÉS

–

Équipes concernées : Interaction son musique mouvement, S3AM

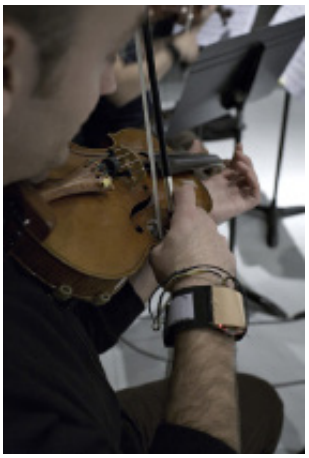
Les instruments augmentés correspondent à des instruments acoustiques auxquels sont intégrés des capteurs, afin de transmettre en temps réel des paramètres gestuels. Ces instruments sont spécialement bien adaptés au contexte de musique mixte acoustique et électronique.

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. 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. Ces outils permettent également le développement d'une nouvelle génération de suivi de partition.

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).

PROJET SAME

Sound And Music for Everyone Everyday Everywhere Every way

–

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

Financement : programme ICT 2007 (Networked Media), 7e PCRD, Commission européenne

Période de réalisation : janvier 2008 – décembre 2010

Partenaires : université de Gênes (UGDIST, coordinateur, Italie), Nokia Research Center (Finlande), KTH (Suède), université Pompeu Fabra (Espagne), université technologique d'Helsinki (Finlande)

Les pratiques et l'écoute musicales sont des cas particulièrement représentatifs d'activités humaines sociales et interactives, deux grands défis actuels des technologies de la communication.

Cependant, ces activités sont généralement vécues de manière passive, non interactive et indépendante du contexte dans lequel elles s'effectuent. Les technologies électroniques actuelles, avec tout le potentiel d'interactivité et de communication dont elles sont porteuses, n'ont pas encore pu être mises au service de ces aspects essentiels de la musique. Ceci peut être considéré comme une dégradation des pratiques et de l'écoute musicales, dans lesquelles le public avait (et a encore) la possibilité d'interagir de nombreuses manières avec les interprètes pour modifier les caractéristiques expressives d'une œuvre musicale.

L'objectif principal du projet Same a été de constituer une chaîne complète de systèmes d'écoute musicale active, sensibles au contexte, dans des situations de mobilité.

Le projet vise à répondre à des questions telles que : quel sera dans cinq ans l'appareil équivalent de l'actuel iPod ?, quels nouveaux marchés de tels appareils sont-ils susceptibles d'ouvrir ?

Il a comporté trois aspects principaux :

- Définir et développer une plateforme de recherche innovante pour la réalisation de bout en bout d'applications musicales mobiles, s'adressant tant à des utilisateurs mélomanes avertis qu'à des non experts ;
- Investiguer et mettre en œuvre de nouveaux paradigmes de communication et d'interaction pour des applications musicales mobiles reposant sur des interfaces multimodales, non verbales de haut niveau, permettant à l'utilisateur d'influencer, de moduler, d'interagir avec le contenu d'écoute, en s'investissant activement et physiquement dans l'expérience ;
- Développer de nouvelles applications pour les mobiles sensibles au contexte, à partir du paradigme d'écoute active, qui actualiseront les aspects sociaux et interactifs de la musique à l'âge des technologies de l'information.

MODÈLES INFORMATIQUES DU TEMPS ET DE L'INTERACTION

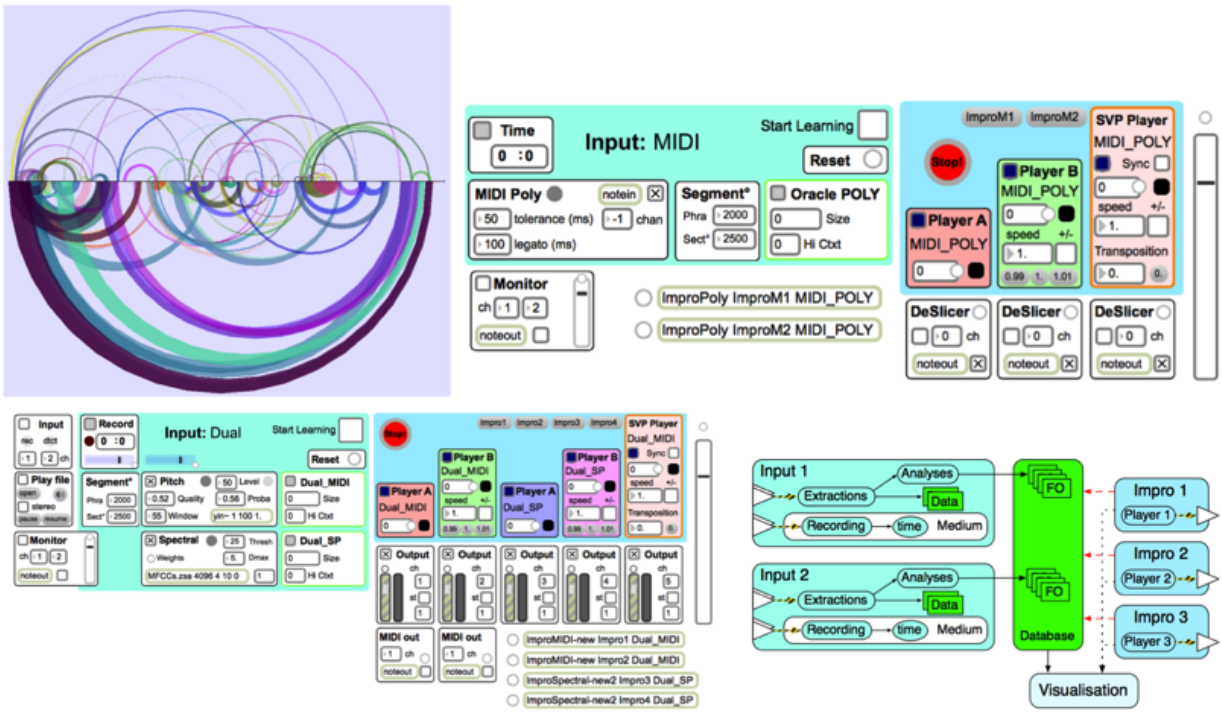
INTERACTIONS MUSICALES IMPROVISÉES - OMAX & CO

–

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.



DYCI2

Creative Dynamics for Improvised Interaction

—

Team Involved: Musical Representations
Funding: ANR -programme générique
Calendar: October 2014—September 2018
Partners: Inria Centre Nancy-Grand Est, Université de Bretagne Occidentale

As a part of the OMax project (and its various forms including SoMax and ImproTek that explore various avenues for the co-articulation of the improvisation or the imposition of temporal scenarios) that had an important effect on computational improvisation research, the project on creative dynamics for improvised interaction focuses on the creation, adaptation, and implementation of effective models for artificial listening, learning, and interaction as well as the automatic generation of musical contents enabling the creation of digital musical avatars that are creative and either capable of being incorporated in an interactive and artistically convincing manner within a range of human systems such as live performances, (post) production, or education or to contribute perceptive and communicative skills to cyber-physical systems.
The project highlights improvised interaction, both as an anthropological and cognitive model of action and decision, as a schema of discovery and unsupervised learning and as a discursive tool for human— digital artifact interaction with the aim of modeling style and interaction.

The objective is to produce creative agents that become autonomous through direct learning resulting from contact with live performances by human improvising musicians, creating a loop of stylistic retroaction via the simultaneous exposition of humans to the productions of digital artifacts that improvised themselves. This creates a situation of human-artifact communication that evolves in a complex dynamic. Off-line learning with archives can also be anticipated to systematically "color" the digital individuality of the agents or to situate the experience within different genres (jazz, classic, pop, etc.). The live performance situation could be extended to novel applications such as interaction with users that have a range of skills, with audio-visual archives dynamically resuscitated in artistic or educations scenarios of co-improvisation, as well as in the general situation of new narrative forms of the work in interactive/generative digital media and virtual reality.

The goal is also to constitute procedural knowledge of music through this interaction and to produce a rich instantaneous human-digital experience, likely to provide aesthetic satisfaction for the user, to enrich his sound and musical production, to implement a dialog with him, to imitate or contradict him, and in general, to stimulate and revitalize the experience of collective performance. This human-artifact interaction will be extended to artifact-artifact interaction in diverse configurations (several humans, a network of several digital artifacts). During the experiment, an autonomous musical individuality will form an individuality capable of intervening in a plausible fashion in situations of collective interaction.
A creative entity in an audio-musical context thus subsumes a collection of concurrent, contributing, and competitive agents capable of interactive learning, of taking charge of artificial learning tasks, of discovering short and long-term temporal structures, of modeling style, of generating symbolic sequences, of real-time audio rendering, but also of visualization and human-machine interfaces.

PROJET IMPROTECH

Technologies et musiques improvisées

–

Équipe concernée : Représentations musicales
Financement : ANR, programme Sciences, technologies et savoirs en sociétés
Période de réalisation : janvier 2010 - décembre 2012
Partenaires : CAMS (Centre d'analyse et de mathématique sociales, UMR 8557 CNRS-EHESS), LAHIC (Laboratoire d'anthropologie et d'histoire de l'institution de la culture, UMR 8177 CNRS- EHESS), Crem (Centre de recherche en ethnomusicologie, UMR 7186, ancien UMR 7173), ENS-LSH de Lyon (laboratoire junior « penser l'improvisation »)

Ce projet a pour objectif d'étudier l'impact des nouvelles technologies sur la création musicale du point de vue des savoirs mis en jeu.
L'avancée scientifique attendue au terme de cette étude est une meilleure compréhension de l'évolution actuelle des musiques populaires dans le contexte des bouleversements provoqués par la généralisation des technologies numériques à tous les stades de leur production.
Comme on l'a vu plus haut, les musiques sont toutes liées à des savoirs, mais l'accent est mis dans ce projet sur celles qui, au sein des musiques populaires, reposent sur des capacités musicales spécifiques, la capacité d'improviser et de ce fait mettent en jeu des savoirs complexes. C'est le cas du jazz notamment. Il est donc nécessaire de s'interroger sur la nature de ce type de savoirs musicaux.
Au-delà de l'aspect technique, la musique a un aspect sémantique. Cela veut dire que dans une improvisation, le support sonore « double » autre chose que lui-même par le partage d'éléments communs au sein d'une communauté de personnes qui jouent, écoutent et font vivre cette musique (même si le terme de « communauté » pose plus de difficultés que dans une ethnographie classique liée à un territoire donné). Au sein de cette communauté, les tournures musicales sont partagées dans un jeu complexe de reprises et d'emprunts.
L'un des buts de ce projet est de suivre les voies de ce partage et de montrer comment les créations individuelles s'articulent les unes aux autres en laissant une place possible à l'innovation. Le caractère original de ce projet réside dans la confrontation de deux types de savoirs exogènes, savoirs musicaux d'un côté, savoirs technoscientifiques de l'autre, encore que ce dualisme soit à nuancer. L'idée est d'observer si une sorte de « greffe » s'opère actuellement dans le monde de la musique improvisée du fait de l'influence croissante que prennent les outils informatiques.
Le critère de réussite d'un tel projet est la vision claire qu'il contribuera à donner de la place actuelle des technologies dans les musiques improvisées, qui sont en pleine effervescence créatrice comme on l'a dit, mais dont il est difficile aujourd'hui de dresser un tableau synthétique.
Sa mise en œuvre passe par le choix d'un certain nombre de musiciens avec qui travailler, dont la représentativité est une condition de réussite du projet.

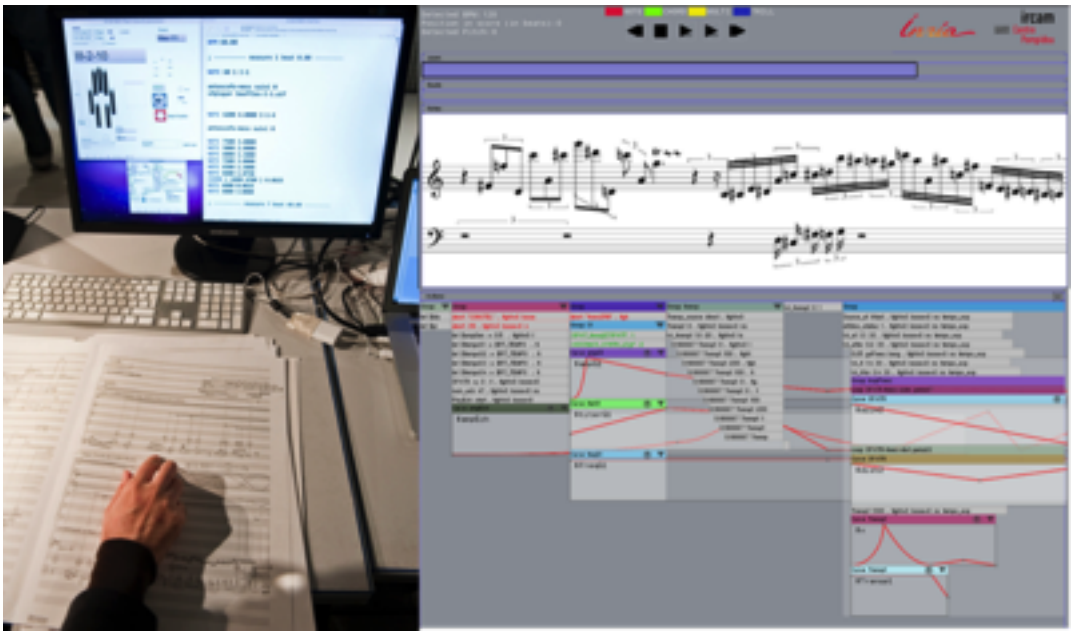
ÉCRITURE DU TEMPS SYNCHRONE

—

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.



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'évènements 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 INEDIT

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

–

Équipe concernée : Représentations musicales
Financement : ANR, programme Contenus et interactions
Période de réalisation : septembre 2012 – août 2015
Partenaires extérieurs : LaBRI, Grame

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 sonores.
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.

COMPOSITION, DESIGN ET MÉDIATION

OUTILS DE COMPOSITION

COMPOSITION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (OPENMUSIC)

–

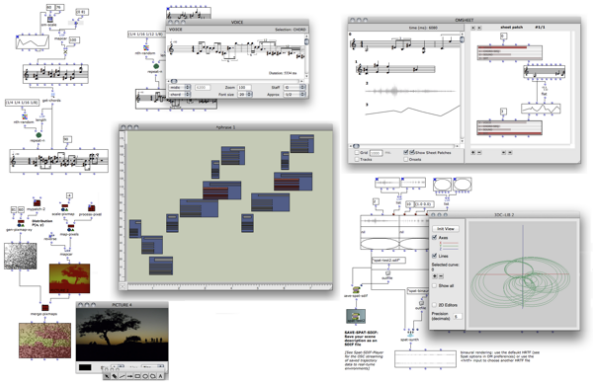
Équipe concernée : Représentations musicales

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 et il a fait l'objet de plusieurs dizaines de milliers de téléchargements par des utilisateurs de tous les pays.

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'activation de chaînes réactives dans les programmes visuels accroît les possibilités d'interaction 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 évènements 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'ordonnancement des évènements 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'ordonnancement. 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'ordonnancement 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, et matériau entièrement dynamique… La conception d'un modèle unifiant fait partie des objectifs à moyen terme de ce projet.



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.

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'Ircam 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 SAMPLE ORCHESTRATOR

—

Équipes concernées : Analyse et synthèse des sons, Représentations musicales, Perception et design sonores, Interaction son musique mouvement
Financement : ANR, programme Riam
Période de réalisation : décembre 2006 – juin 2009
Partenaire extérieur : société Univers Sons
Coordinateur : Ircam

Le projet Sample Orchestrator a été conçu pour la réalisation et l'expérimentation de nouvelles applications reposant sur la gestion et la manipulation par le contenu de banques d'échantillons sonores (sons isolés préenregistrés).
Sa réalisation s'est inscrite à la conjonction de deux processus : d'une part, la disponibilité commerciale de grandes banques d'échantillons diffusées sur différents supports (CD et DVD, bases en ligne), mais limitées dans leurs applications (synthétiseurs par échantillonnage) ; d'autre part, des avancées scientifiques et technologiques récentes en matière de méthodes d'indexation et de systèmes de gestion de bases de données audio, permettant d'envisager des fonctions musicales encore inédites, faisant appel à des modes de gestion globale et de manipulation par le contenu de l'ensemble des échantillons disponibles :

- Gestion par le contenu de banques d'échantillons : classification automatique, recherche par similarité, synthèse concaténative sur la base de descriptions de haut niveau ;
- Traitement audio par le contenu (se fondant sur une analyse préalable des caractéristiques des signaux traités) : transposition, dilatation, hybridation, etc. Ces fonctions de traitement se décomposent en fonctions de prétraitement, visant la préparation d'échantillons en studio, et celles de post-traitement, intervenant en temps réel lors de l'utilisation de banques de sons par un dispositif instrumental d'échantillonneur de nouvelle génération ;
- Outil d'aide à l'orchestration, intégré à l'environnement OpenMusic, trouvant, sur la base de la modélisation de connaissances musicales, généralement empiriques de la part de compositeurs, les meilleures combinaisons de sons en vue de l'obtention de l'effet musical recherché (fusion/séparation, réorchestration à partir de sons existants, etc.).

L'organisation du projet a intégré la coordination d'activités de recherche de plusieurs équipes de l'Ircam autour des principaux verrous scientifiques et technologiques identifiés : description, indexation et classification automatique des contenus sonores et musicaux, traitement sonore par le contenu, ingénierie des connaissances musicales et leur application à l'orchestration, environnements logiciels pour le traitement audio temps réel. Le projet a fait l'objet d'une importante production scientifique (2 thèses de doctorat, 10 articles dans des revues et livres, 18 conférences), d'une valorisation industrielle (les technologies développées dans le projet ont permis la réalisation du logiciel MachFive 3 d'Univers Sons commercialisé par la société américaine Mark of the Unicorn) et de nombreuses créations musicales à l'Ircam.

Le projet a été sélectionné au titre « d'avancée scientifique majeure » par l'ANR dans son rapport d'activité 2006.

ÉCRITURE DU SON ET DE L'ESPACE

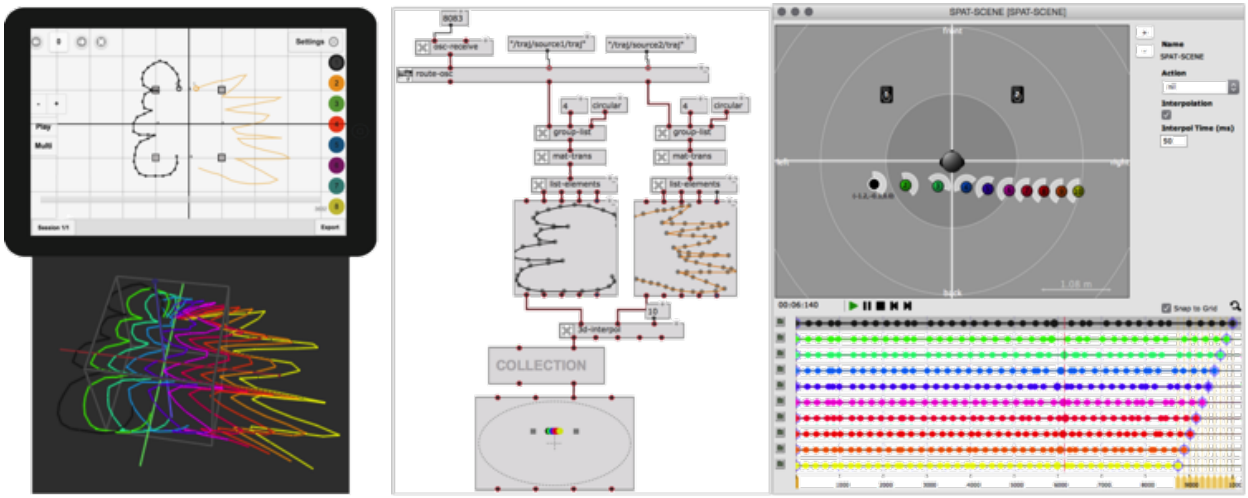
–

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 un projet de conception d'interfaces pour le contrôle des processus de spatialisation sonore. Suivant une approche de conception participative, des entretiens ont été réalisés avec des compositeurs afin de mieux comprendre leurs besoins, dans le but de proposer des outils facilitant le contrôle et l'écriture de la spatialisation. Ces entretiens ont mis en évidence la nécessité d'outils interactifs pour la saisie, la visualisation et la manipulation de données de contrôle pour la spatialisation, et ont conduit la conception de différents prototypes.
Les objets et outils de conception spatiaux 2D/3D OpenMusic ont été fondus dans un modèle de données temporisées, permettant une gestion homogène des spécifications et transformations temporelles. Connectées au moteur d'ordonnancement et à des structures temporelles de plus haut niveau, ces données permettent de représenter des scènes sonores spatiales et leur évolution dans le temps. Un objet interactif a été développé, utilisant les modules de visualisation, d'interaction et de rendu spatialisé de la bibliothèque Spat.



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.

© Inria / Photo H. Raguet

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.

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.

ANALYSE ET MÉDIATION

PROJET VERTIGO

http://starts.eu/vertigo

–

Services concernés : Direction R&D, Direction générale, département Interfaces recherche/création, Centre de ressources Ircam, 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 Karslruhe, le Victoria and Albert Museum de Londres, la Biennale de Venise, le festival Ars Electronica de Linz, etc.

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 existant. 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 attrait 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.

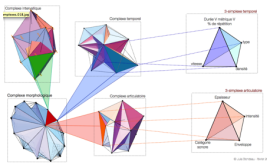
MATHÉMATIQUES ET MUSIQUE

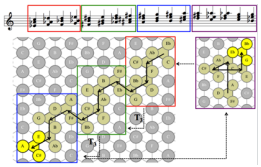
–

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 Universités (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 néoriemannienne 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.

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).

THÉORIES DE LA COMPOSITION MUSICALE AU XXe 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 XXe 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 MUTEC

Musicologie des techniques de composition contemporaines

–

Équipe concernée : Analyse des pratiques musicales
Financement : ANR, programme SHS – Création
Période de réalisation : décembre 2008 – décembre 2011
Partenaires extérieurs : HEM/conservatoire de Genève, CEAC / université de Lille-3, TechCICO / université de technologie de Troyes
Coordinateur : Ircam

Ce projet vise à documenter et interroger la spécificité d'un ensemble de techniques de composition caractéristiques de la musique contemporaine, par l'étude approfondie et coordonnée de plusieurs processus créateurs représentatifs de la musique des XXe et XXIe siècles, documentés au moyen d'archives de l'activité créatrice (esquisses, brouillons, etc.) et/ou d'entretiens approfondis avec les compositeurs (pour les compositeurs en activité). La méthode et les références du programme sont à la croisée de plusieurs domaines disciplinaires complémentaires : musicologie, critique génétique (au sens de la genèse d'une œuvre), sciences cognitives. Le projet développe notamment une méthodologie innovante basée sur la notion de « remise en situation de composition ».
Les différents processus créateurs sélectionnés s'échelonnent sur une période d'une soixantaine d'années, du milieu du XXe siècle jusqu'aux œuvres les plus récentes : musique de film pour Cartier-Bresson par Koechlin, *Pli selon pli* de Boulez, *Requiem pour un jeune poète* de Zimmermann, *Les espaces acoustiques* de Grisey, *Traiettoria* de Stroppa, *Trei II* de Jarrell, *L'Esprit des Dunes* de Murail, projet de « Jardin sonore » par J.-L. Hervé, *Gramigna* de S. Gervasoni. Chacun a pris en compte une technologie spécifique : montage d'enregistrements sonores, musique mixte avec sons de synthèse, installation sonore avec traitement temps réel, etc.
L'étude empirique de l'interaction entre un projet artistique et ses outils techniques permettent : d'éclairer sous un jour nouveau un ensemble d'œuvres de référence de la musique contemporaine ; de mieux comprendre la relation entre dispositifs techniques et créativité ; de mettre en évidence de façon plus générale certains traits caractéristiques de la cognition musicale à travers une analyse approfondie de l'une de ses formes à la fois les plus expertes et les moins étudiées.
Le programme a organisé, à l'échelle de ses trois années de travaux, la circulation de notions et de thèmes d'analyse transverses au travers de ses cas d'étude (ou « terrains ») constitutifs. Cette circulation a été facilitée par la conception et l'usage d'une plateforme informatique partagée (développée dans l'équipe sur la base d'un prototype préexistant de « navigation génétique » dans une œuvre musicale) permettant la numérisation des différents corpus génétiques et la navigation hypermédia au sein de ces corpus, y compris leur annotation et la variation de leurs modalités de représentation.

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.

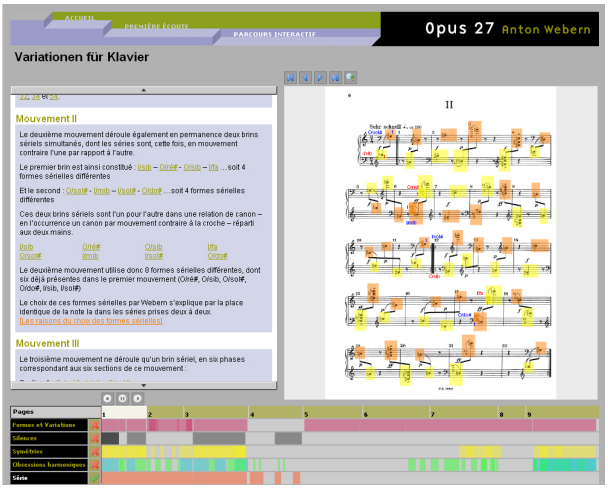
D'abord, l'expérimentation consistant à réaliser diverses analyses musicologiques dans un environnement multimédia, en spécifiant au fur et à mesure cet environnement en fonction des étapes de la démarche analytique. Cette activité d'expérimentation se concrétise, d'une part, par le développement d'outils 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.

PROJET GAMELAN

Environnement pour la gestion et l'archivage de la musique et de l'audio numériques

—

Équipe concernée : Ingénierie des connaissances musicales
Financement : ANR, programme Contenus et interactions
Période de réalisation : décembre 2009 – octobre 2013
Partenaires : université de technologie de Compiègne, Institut national de l'audiovisuel, EMI Music
Coordinateur : Ircam

Les environnements de production sonore et musicale sont composés de nombreux outils destinés au façonnage et à l'assemblage de sons. Qu'il s'agisse de musique classique, contemporaine, électroacoustique, électronique ou variétés, chaque production doit gérer un nombre très important d'échantillons sonores faisant intervenir une diversité d'outils destinés à la création, la modification ou l'enrichissement des sons. Il est habituel dans un contexte de production, de trouver des outils de toutes sortes : outils d'enregistrements, outils de « nettoyage » du son, banques d'échantillons, outils de traitement, outils de synthèse sonore, séquenceurs, bibliothèques d'effets audio, outils de synchronisation, mixage… auxquels il faut ajouter les outils spécifiques à la production musicale (partitions…).

Les objectifs du projet se situaient donc sur quatre niveaux :

- Environnements de production
  Garder la trace de toutes les actions, depuis le matériel de départ au produit fini (par exemple : cette action sur ce fichier a produit tel autre nouveau fichier) ; organiser les éléments intervenant dans la production (fichiers, logiciels) dans des structures prédéterminées par l'utilisateur et les inclure comme composantes de l'environnement. Formaliser la connaissance générée lors du processus. L'objectif applicatif est de travailler avec n'importe quel logiciel de production commercial et d'agir sur l'environnement dans lequel ces logiciels sont utilisés.
- Stratégies de préservation
  Utiliser l'environnement de production comme une plateforme pour la préservation, extraire les structures et les connaissances qui vont permettre de simplifier l'accès futur à l'environnement. Appliquer des méthodologies de type OAIS permettant une réutilisation de l'environnement et ses composantes.
- Réutilisation des productions
  Restructurer le matériel de production en fonction de nouveaux objectifs, additionner d'autres matériaux et modifier les liens et la structure globale. Utiliser des sous-parties de l'environnement pour générer de nouveaux environnements. Déconstruction et reconstruction de processus pour une analyse des intentions.
- Gestion de droits
  Permettre la traçabilité des contenus lors d'une production pour gérer les droits d'utilisation.

DESIGN ET COGNITION SONORES

PROJET CREAM

Cracking the Emotional Code of Music

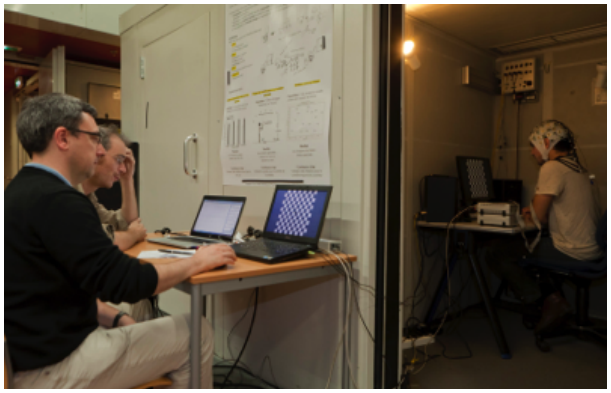
—

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 Mœlle Epinière (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.

PROJET SKAT-VG

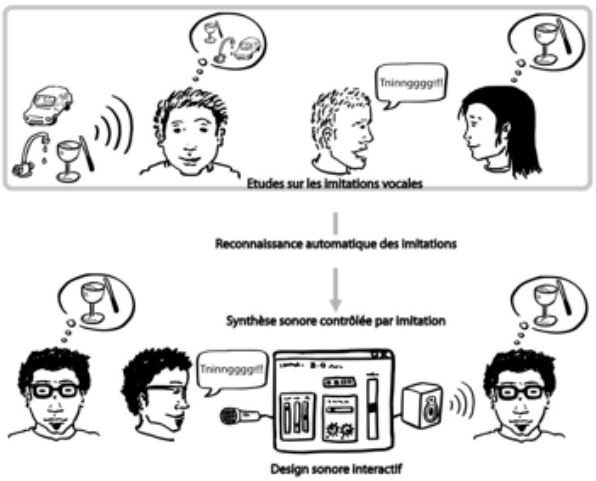
Sketching Audio Technologies using Vocalizations and Gestures

–

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'appuie 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 comprennent 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 MoUVIe

Mobilité et Qualité de Vie en Milieu Urbain

—

Équipe concernée : Perception et design sonores
Programme : Chaire d'Excellence — Fondation UPMC
Période de réalisation : avril 2014 — avril 2019
Collaborations : OSU Ecce Terra, Laboratoire Atmosphère, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS), Inserm, UPMC — 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 l'UPMC 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 l'UPMC, travaille sur la propagation des ondes acoustiques linéaires et non linéaires en milieux complexes à l'Institut Jean le Rond d'Alembert UPMC/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 l'UPMC et chercheur au LATMOS, IPSL/UVSQ/UPMC/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/UPMC), 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 l'UPMC, 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 Citroen : « 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 LOUDNAT

–

Équipe concernée : Perception et design sonores
Financement : ANR, programme Blanc
Période de réalisation : novembre 2011 – octobre 2015
Collaborations : LVA-INSA, Lyon (coordinateur)
et LMA-CNRS, Marseille

La sonie (sensation de force sonore – loudness en anglais) est un caractère fondamental de perception d'un son. Des modèles existent pour prédire cette sensation à partir de mesures effectuées sur le signal sonore, mais ils sont limités à des cas particuliers de sons qui s'éloignent des sons environnementaux (naturels).
Ces restrictions limitent donc fortement l'utilisation de ces modèles pour mesurer la sonie des sons de l'environnement dont les caractéristiques acoustiques varient au cours du temps (par exemple, bruit de passage d'un véhicule).
L'impression globale de sonie d'un auditeur dépend alors du type de variation des caractéristiques du son dont il faut tenir compte dans un modèle prédictif. D'autre part, la localisation de la source ainsi que l'obstacle constitué par le corps de l'auditeur dans un contexte environnemental quotidien induisent des modifications du son et des différences interaurales dont dépend la sonie jugée par un auditeur. Ces modifications sont aussi à prendre en compte dans un modèle prédictif adapté aux sons de l'environnement.
L'objet de ce projet est donc d'étendre la validité de modèles de sonie à des sons de l'environnement. L'étude consistera en des expériences psychoacoustiques visant à tester plusieurs hypothèses concernant des mécanismes perceptifs et cognitifs à prendre en compte pour modifier et adapter les modèles de sonie existants.

PROJET ROADSENSE

–

Équipe concernée : Perception et design sonores
Période de réalisation : octobre 2010 – novembre 2013
Financement : ANR, programme VTT
Partenaires : CETE, LEPSIS, COLAS, Aximum
Coordinateur : Aximum

RoadSense est un projet de recherche industrielle qui vise à concevoir, à mettre en œuvre et à valider expérimentalement une aide à la conduite destinée aux usagers motorisés. Cette aide est fournie par une délinéation par l'infrastructure, produisant une alerte sonore et vibratoire au passage des roues. Cette aide est destinée à alerter les conducteurs ayant une trajectoire aléatoire ou aberrante par rapport aux voies de circulation en rase campagne.
Pour atteindre cet objectif le projet de recherche RoadSense vise à :

- Proposer un cadre d'analyse fonctionnelle de la sûreté des voies de circulation à partir de l'état de l'art des connaissances et de l'identification des enjeux et des mécanismes d'accidents de la route en rase campagne ;
- Concevoir sur simulateur numérique des signaux sonores pertinents, les implémenter sur simulateur de conduite et sur banc physique, et expérimenter l'efficacité et l'acceptabilité d'une «bande d'éveil de vigilance» par délimitation sonore de la voie de circulation ;
- Réaliser et expérimenter un nouveau système d'aide à la conduite à bas coût, rapidement généralisable et efficace pour l'ensemble du parc des véhicules existants sur routes départementales, nationales ou autoroutes par une validation graduelle in situ (sur piste puis sur route).

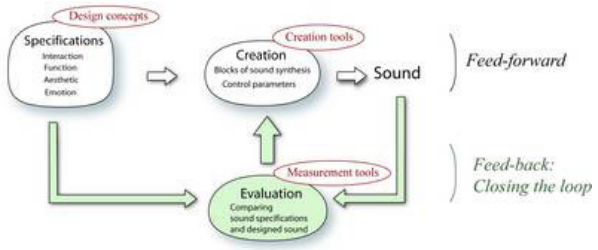
PROJET CLOSED

Closing the Loop Of Sound Evaluation and Design

–

Équipe concernée : Perception et design sonores
Période de réalisation : juillet 2006 - juin 2009
Financement : programme NEST (New and Emerging Science and Technology), appel MTI (Measuring The Impossible), 6e PCRD, Commission européenne
Partenaires : HGKZ (École supérieure de design et d'arts appliqués), NIPG (université de Berlin), Univerona-VIPS (université de Vérone)
Coordinateur : Ircam

Le projet CLOSED a pour vocation de proposer une nouvelle approche du design sonore en termes d'outils de création, de mesure et d'évaluation des productions sonores dans le domaine du design des objets du quotidien.
Elle s'inscrit dans une démarche plus large empruntée au domaine du design industriel et peut se représenter schématiquement de la manière suivante :



De cette manière, le processus de design sonore est vu comme une boucle itérative : une première phase d'analyse permet de dégager des spécifications vis-à-vis des qualités/propriétés du son à réaliser, la phase de création sonore s'opère à partir de ces connaissances préalables puis est validée sur la base des spécifications initiales ; le cas échéant, la production est affinée en repassant dans la boucle création/validation. À l'intérieur de ce cadre, le projet est centré sur l'élaboration d'outils de mesure reliés aux aspects fonctionnels, esthétiques et émotionnels du son, et ayant pour vocation d'être utilisés par les designers dans leurs processus de création.

À travers ces outils, le designer peut à la fois façonner les sons d'objets du quotidien et, dans le même temps, évaluer le résultat de sa création. L'outil d'évaluation est composé d'un ensemble d'indicateurs facilement interprétables en termes de fonctionnalité, d'esthétique et de réactions émotionnelles, qui sont associés à un contexte donné d'utilisation du produit.

Ce projet a fédéré quatre laboratoires européens qui ont articulé son contenu suivant quatre différents axes :

- Synthèse sonore basée sur la modélisation d'événements physiques (solide, liquide…), le contrôle de la synthèse par paramètres physiques et perceptifs orientés vers le design interactif ;

- L'étude de la perception des sons environnementaux et de leur organisation perceptive et cognitive. Intégration des aspects esthétique et fonctionnel perçus du son dans le processus de design, et évaluation de leur impact émotionnel ;

- Étude des nouveaux usages du design sonore. Élaboration de principes d'interaction sonore avec un objet en relation avec la perception et la cognition. Élaboration de scénarios par la création de prototypes sonores favorisant les interactions entre un usager et un objet ;

- Techniques d'apprentissage et de classification automatique des sons basées sur des modèles physiologiques pour une évaluation automatique de l'esthétique, de la fonction et des aspects émotionnels du son intégrés dans le processus global du design sonore.

PROJET MINET

Measuring the Impossible NETwork

–

Équipe concernée : Perception et design sonores
Période de réalisation : février 2007 – mars 2010
Financement : 6e PCRD (Programme Cadre R&D), Commission européenne
Partenaires : vingt-et-un partenaires européens (Israël compris), académiques et industriels
Coordinateur : Stockholms Universitet

Le projet MINET avait pour objectif de regrouper tous les projets européens du programme «Measuring the Impossible» (MTI), auquel le projet CLOSED appartient, ainsi que des spécialistes de métrologie. En effet, le point commun de tous ces projets est qu'ils cherchent à mesurer l'impossible, c'est-à-dire des phénomènes liés à l'être humain, traditionnellement réputés non mesurables, tels que les émotions ou la perception.
L'objectif global de MINET a donc été de réfléchir à ce concept de mesure appliqué à l'humain.
À travers l'organisation d'échanges, de groupes de réflexions, de séminaires, de visites d'études ou d'écoles d'été entre les différents projets partenaires de MINET, cet objectif s'est subdivisé en plusieurs points : augmenter la productivité des différents projets partenaires de MINET, structurer et élargir la communauté scientifique européenne s'intéressant à la mesure de quantités liées à l'humain, développer et standardiser les concepts métrologiques propres à la mesure de l'humain.

PROJET SID

Sonic Interaction Design

–

Sonic Interaction Design

Équipe concernée : Perception et design sonores
Partenaires : treize pays de la communauté européenne, et un pays non-membre (université McGill, Canada)
Financement : programme COST, Commission européenne
Période de réalisation : juillet 2007 – juin 2011
Coordinateur : département d'art et de design industriel, IUAV université de Venise

Le design interactif sonore (SID) consiste à exploiter la modalité sonore pour transmettre une information, combinée à une composante esthétique/émotionnelle, utile dans des contextes d'usage interactif. En d'autres termes, il s'agit de favoriser les interactions par le biais du sonore.
L'objectif de la COST action SID est de contribuer à la création et à la consolidation d'une théorie, d'outils et de domaines d'application du design sonore afin d'améliorer ou d'introduire la composante sonore dans la conception d'objets et de systèmes interactifs.
Un des enjeux à long terme est de coordonner les travaux dans ce domaine au niveau européen, et de dégager des nouvelles perspectives dans les programmes européens (7th framework programme…).
Les efforts ont été portés par quatre groupes de travail, chacun étant associé à un axe de recherche ou d'application révélé pertinent pour le domaine :

- Approches perceptive, cognitive et émotionnelle dans les interactions sonores ;
- Design sonore produit ;
- Interactions musicales et artistiques ;
- Sonification.

4

LES LOGICIELS DE L'IRCAM

LE FORUM

COMMUNAUTÉ D'UTILISATEURS DES LOGICIELS DE L'IRCAM
http://forumnet.ircam.fr

créer un cadre d'échange communautaire dynamique dans un esprit de partage de connaissances et de compétences autour de la musique et des technologies

Le nouveau Forum est destiné avant tout à créer un cadre d'échanges communautaires dynamiques dans un esprit de partage de connaissances, d'usages et de compétences autour du son, de la musique et des technologies issues du département R&D de l'Ircam et des membres du Forum. Le Forum s'engage à diffuser un ensemble de logiciels, d'applications, de librairies ainsi qu'un ensemble d'activités et de nouveaux services.
Créé en 1993 pour répondre à la demande des universités d'un accès aux résultats des recherches menées au sein de l'institut, le Forum a progressivement créé une communauté d'utilisateurs des logiciels qui, par sa diversité de métiers, cultures et approches a considérablement enrichi son offre. La nouvelle plateforme FORUMNET créée en 2012 a ajouté une dimension sociale entre les utilisateurs et les équipes de recherche afin de développer les échanges avec et entre les membres via les groupes de discussions, les ateliers et les sessions de travail organisés à Paris et hors les murs.

LES MEMBRES

Les technologies du Forum sont principalement destinées à :

- **Des professionnels du son** (ingénieurs du son, designers sonores, réalisateurs en informatique musicale, acousticiens) pour : le traitement de la voix et du son (cinéma, installations, concerts), l'acoustique des salles (salles de concert, salle de cinéma, laboratoires) et les traitements au service de la création artistique (électronique, temps réel) ;
- **Des chercheurs-développeurs** (chercheurs, développeurs, musicologues, enseignants, étudiants) pour des recherches sur le son, la voix, les instruments, l'interprétation ;
- **Des artistes de tous univers musicaux et artistiques** (compositeurs, interprètes, artistes multimédias, plasticiens, chorégraphes, metteurs en scène) qui utilisent l'informatique musicale pour la conception et la production d'une œuvre.

Les logiciels distribués par le Forum s'adressent également à tous les amateurs de nouvelles technologies appliquées au son et à la musique.

LES TECHNOLOGIES

Le Forum propose 2 modes d'accès aux logiciels de l'Ircam :
1/ **L'abonnement PREMIUM** (institut / individu) qui permet l'accès à l'ensemble des logiciels
2/ L'acquisition de **logiciels à l'unité**. Ce dispositif est notamment au service d'étudiants ou de chercheurs qui s'intéressent à des technologies particulières.

LES SERVICES

Les services proposés et partagés dans le Forum sont :

- **forumnet. ircam. fr :** un espace dynamique pour les membres (groupes de discussions, agenda, événements, patchs Max, documentation, veille technologique),
- **Un atelier de trois jours à l'Ircam** au mois de mars de chaque année,

- **Un atelier international Hors les Murs** une fois par an à l'invitation d'universités et organismes étrangers,
- **Un support technique en ligne**,
- **Des tarifs préférentiels** sur les stages de formation organisés par le département Pédagogie et action culturelle ainsi que sur les événements (concerts, festival-académie ManiFeste) et les produits éditoriaux (disques, livres, cédéroms, échantillons sonores). Un accès à des tarifs privilégiés sur plusieurs logiciels vendus dans le commerce (Ircam Tools, Ircamax, Ircam Solo Instruments, Ircam Piano Préparé…).

QUELQUES CHIFFRES

Combien sont-ils ?

FORUMNET 2.0 totalise à ce jour près de 6 000 inscrits sur forumnet.ircam.fr.

En 2016, on enregistre :

- 569 inscriptions payantes

dont 280 abonnements « Premium individuel »

- et 41 abonnements « Premium institutionnel »
- 248 achats de logiciels à l'unité

Plus de 86 930 visiteurs ont navigué sur la plateforme Forumnet en 2016.

Où sont-ils ?

La répartition géographique des membres est la suivante :

France 20,42%, Europe (hors France) 58,20%, Europe (hors UE) 7,56%,

États-Unis et Canada 18,88%, Asie et Océanie 11,19%, Amérique Latine 3,08%

Afrique 1,12%.

QUELQUES INSTITUTIONS

France

Cité de la musique (Paris), Cirm (Nice), CNSMD de Lyon, Conservatoire national supérieur de musique et de danse de Paris, CRR de Strasbourg, ENSA de Dijon, Ensemble TM+ (Nanterre), ESBA Le Mans, IReMus - CNRS (Paris), Théâtre national de Strasbourg, université Rennes-2, université Paris-Sorbonne.

Europe

Centre Henri Pousseur (Belgique), Charleroi Danses - La Raffinerie (Belgique), Conservatorio Statale di Musica « Giuseppe Verdi » (Italie), Conservatorio Superior de Música de Aragón (Espagne), De Monfort University (Royaume-Uni), Estonian Academy of Music and Theatre (Estonie), Experimentalstudio des SWR (Allemagne), Goldsmiths-University of London (Royaume-Uni), Gotlands Tonsattarskola (Suède),Haute école de musique de Genève (Suisse), Hochschule für Musik und Theater, Felix Mendelssohn Bartholdy, Leipzig (Allemagne), Karl-Franzens-Universität Graz (Autriche), Keele University (Royaume-Uni), Kungliga Musikhögskolan (Suède), NOTAM (Norvège), Sonic Arts Research Centre - Queen's University Belfast (Royaume-Uni), Staatliche Hochschule für Musik und Darstellende Kunst (Allemagne), Universität für Musik und darstellende Kunst Wien (Autriche), University of Arts in Belgrade (Serbie), University of Birmingham (Royaume-Uni), University of Edinburgh (Royaume-Uni), University of Huddersfield (Royaume-Uni), University of Liverpool (Royaume-Uni), University of Manchester (Royaume-Uni), University of Sussex (Royaume-Uni), Utrecht School of the Arts (Pays-Bas), ZKM Center for Art and Media (Allemagne).

Hors Europe

Arup Acoustics (États-Unis), Arizona State University - School of Arts Media and Engineering (États-Unis), Boston University (États-Unis), Chapman University (États-Unis), CNMAT (États-Unis), Columbia University (États-Unis), Cycling'74 (États-Unis), Columbia College Chicago (États-Unis), McGill University (Canada), Nagoya University of Arts (Japon), Shobi University (Japon), Tokyo University of the Arts (Japon), University of Cape Town (Afrique du Sud), Hanyang University (Corée du Sud), School of the Art Institute of Chicago (États-Unis), SIAL Sound Studios - RMIT University (Australie), University of Auckland (Nouvelle-Zélande), Yale University (États-Unis), Yong Siew Toh Conservatory of Music (Singapore), Western Sydney University (Australie).

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 (F0, 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 » ;
- F0 : 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 multiprocesseurs.

Technologies et partenaires

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

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, multimédia, 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

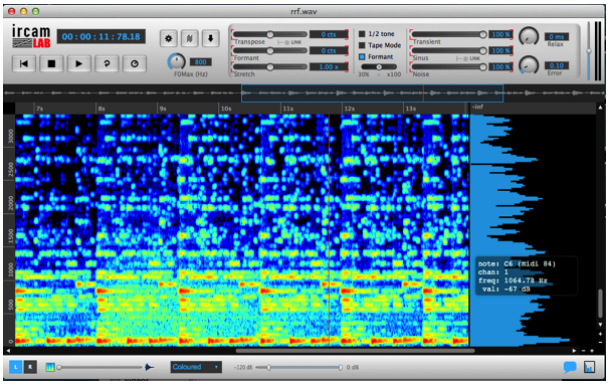
Macintosh sous Mac OS X 10.5 ou supérieur. Formats de fichiers audio : AIFF/AIFC, Wav et Sound Designer II et plus.

IRCAMLAB TS

–

Conception et développement : équipe analyse et synthèse des sons

T.S 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, sonagramme 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. Préréglage définis pour différents modes de transposition avec la possibilité d'ajuster plus finement la F0 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

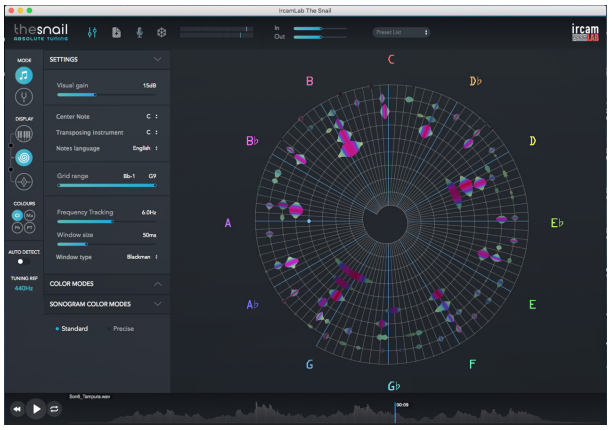
- Macintosh sous Mac OSX 10.6 ou supérieur.
- Formats de fichiers audio : AIFF/AIFC, Wav (et autres formats permis par la bibliothèque libsndfile).

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 frequencielle 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.

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.

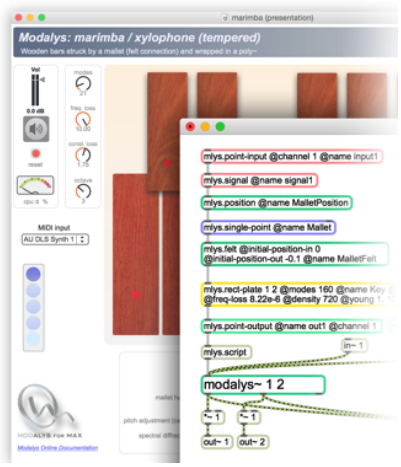
Fonctions principales

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).

OPENMUSIC

–

Conception et développement : équipe Représentations musicales

OpenMusic (OM) est un environnement de programmation visuelle pour la création d'applications de composition et d'analyse musicale assistées par ordinateur. OpenMusic offre à l'utilisateur de nombreux modules qui peuvent être associés à des fonctions mathématiques ou musicales, représentées par des icônes. L'utilisateur peut relier ces modules entre eux et créer un programme générant ou transformant des structures musicales. Les programmes visuels 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 aux États-Unis.

Fonctions principales

- Construction graphique de programmes fonctionnels (méthodes d'abstraction/ application, fonctions d'ordre supérieures, structures conditionnelles, itérations…) ou orientés-objet ;
- Fonctions de haut niveau pour la création et la transformation des structures musicales (hauteurs, rythmes, etc.) ;
- Manipulation algorithmique des données aux formats MIDI, audio (WAV, AIFF), 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 ».
- Support et manipulation des données et fichiers MIDI, audio, analyses et de descriptions sonores SDIF…;
- Outils mathématiques pour l'analyse et la composition ;
- « Maquettes » : éditeur graphique permettant de donner une forme temporelle et hiérarchique aux « patchs » et de définir des « programmes temporels ».

Bibliothèques spécialisées

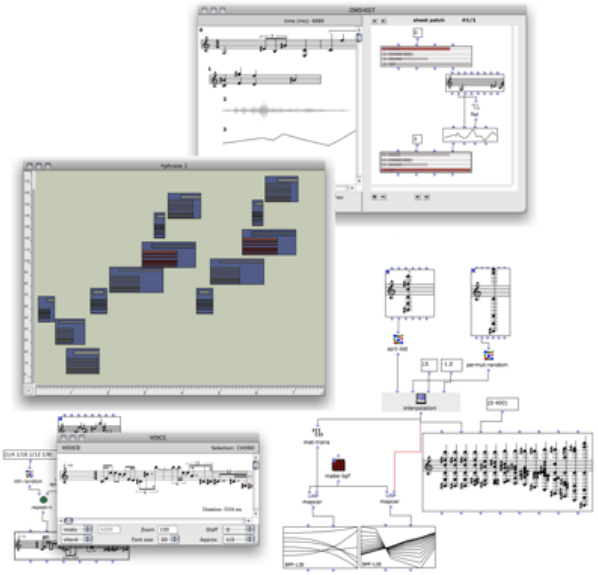
LZ : analyse statistique et génération d'improvisations musicales ; Esquisse : fonctions spectrales ; OMRC : programmation de contraintes rythmiques ; OMCS : programmation par contrainte généralisée ; Repmus : fonctions de l'équipe Représentations musicales ; Profile : manipulation de profils harmoniques et de contour ; 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 ; OM-Faust : application et contrôle de traitements audio avec le synthétiseur Faust.

Caractéristiques techniques et configuration

Programmation basée sur le langage Common Lisp.
Compatible MacOSX, Windows et Linux.
Distribution open source – Licence LGPL pour l'environnement de base.

Technologies et partenaires

LispWorks (http://www.lispworks.com/)
MidiShare et LibaudioStream © Grame (http://www.grame.fr)
Collaboraton BEK (version Linux) -- http://www.bek.no/



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

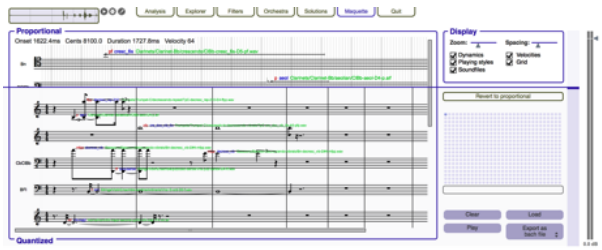
Composition orchestrale, réorchestration, écriture du timbre, pédagogie musicale.

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 patchs Max et de serveur C++.



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 (distribution 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 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

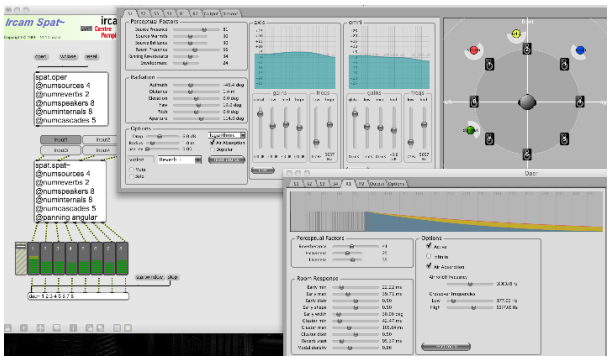
- Contrôles perceptifs
  Azimut et élévation, distance, présence de la source, présence de la salle, réverbérance précoce et tardive, enveloppement, balances fréquentielles.
- Contrôles DSP de bas niveau
  Égalisation, effet Doppler, absorption de l'air, réverbération multicanal, direction de la source 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::



TOSCA

–

Conception et développement : équipe Espaces acoustiques et cognitifs

ToscA est un plugin permettant de communiquer, en lecture comme en écriture, l'automation des paramètres d'une station de travail audionumérique 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 shunté (*bypassé*) ; en revanche le plugin expose un certain nombre de paramètres automatisables. Dans un souci de compatibilité avec une vaste gamme de stations audionumériques, le nombre maximal de paramètres exposés par piste est limité à 32. Lorsque ces pistes d'automation sont activées en lecture, ToscA envoie les données de ces pistes en OSC. De même, si les automations 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'automation 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'automation : dans l'environnement du DAW, les pistes d'automation sont codées en flottant sur [0 – 1] ; ToscA réalise un scaling de [0 – 1] vers le domaine [min – max] choisi par l'utilisateur. Ce scaling affecte les données sortantes et un scaling inverse est appliqué 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.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>

<tosca version="0.4">
    <parameter index="1" name="azim" min="-180" max="180" scaling="linear"/>
    <parameter index="2" name="elev" min="-90" max="90" scaling="linear"/>
    <parameter index="3" name="gain" min="-60" max="0" scaling="linear"/>
    <parameter index="4" name="aperture" min="0" max="180" scaling="linear"/>
    <parameter index="5" name="orientation" min="-180" max="180" scaling="linear"/>
</tosca>
```

Vue du plugin ToscA dans ProTools et fichier d'exemple de configuration des paramètres d'automation.
1. Plugin en insert sur la piste 1
2. Liste des paramètres exposés
3. Fenêtre du plugin
4. Pistes d'automation

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.

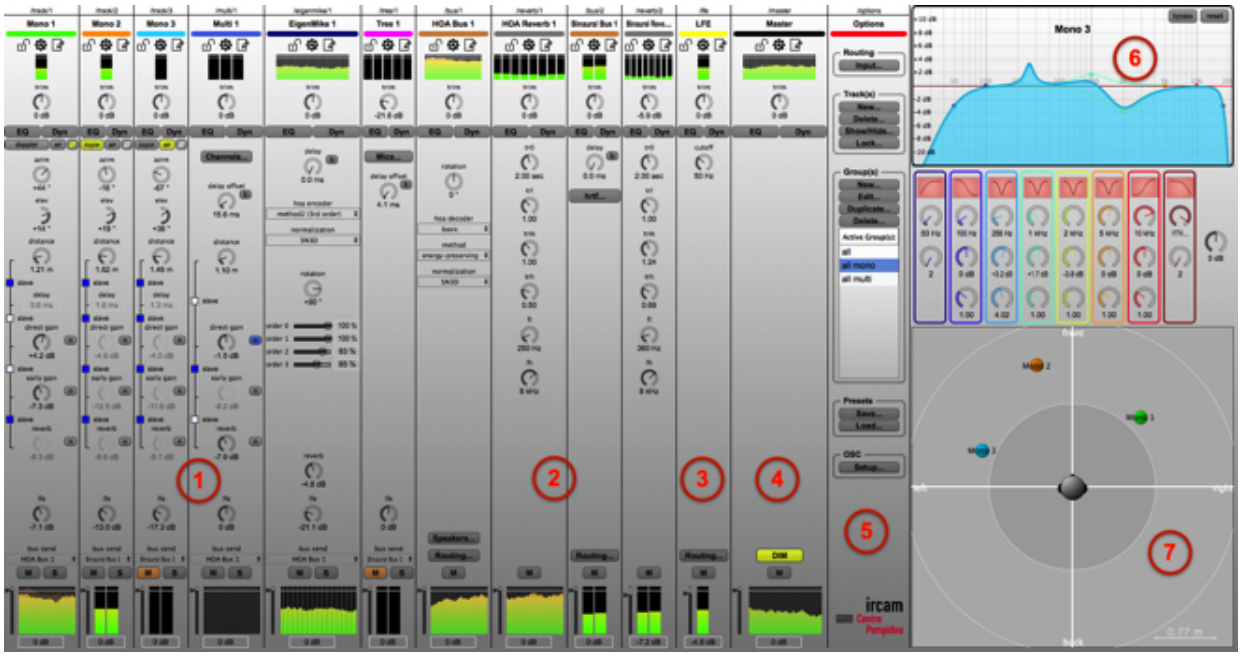
À l'instar d'une console traditionnelle, Panoramix se présente sous forme de tranches. Les tranches sont classées en deux catégories principales : tranches d'entrée (ou « tracks ») et bus.

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.

Fenêtre principale de la station Panoramix.
1) Tranches d'entrée ; 2) Bus de panning et reverbération ;
3) Bus LFE ; 4) Tranche Master ; 5) Options de session (gestion des groupes, import/export de presets, etc.) ; 6) Module(s) d'insert (égaliseur, compresseur, etc.) ; 7) Interface géométrique de positionnement.



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.

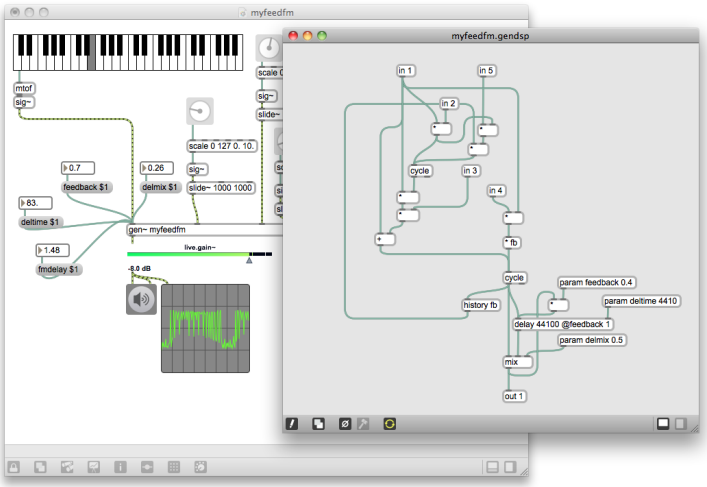
Postproduction audio et pilotage de périphériques
Contrôle possible de périphériques extérieurs tels que tables de mixage, systèmes « direct-to-disk », synthétiseurs, etc.

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 de Max 6 offre le support du multiprocessing, du calcul en 64 bits et apporte de nombreuses améliorations du rendu sonore.
Max 6 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. GEN est utilisé pour les différents domaines de l'application : audio (gen~), matrices Jitter (jit.gen, jit.pix) et OpenGL (jit.gl.pix).



ANTESCOFO

—

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.

Applications

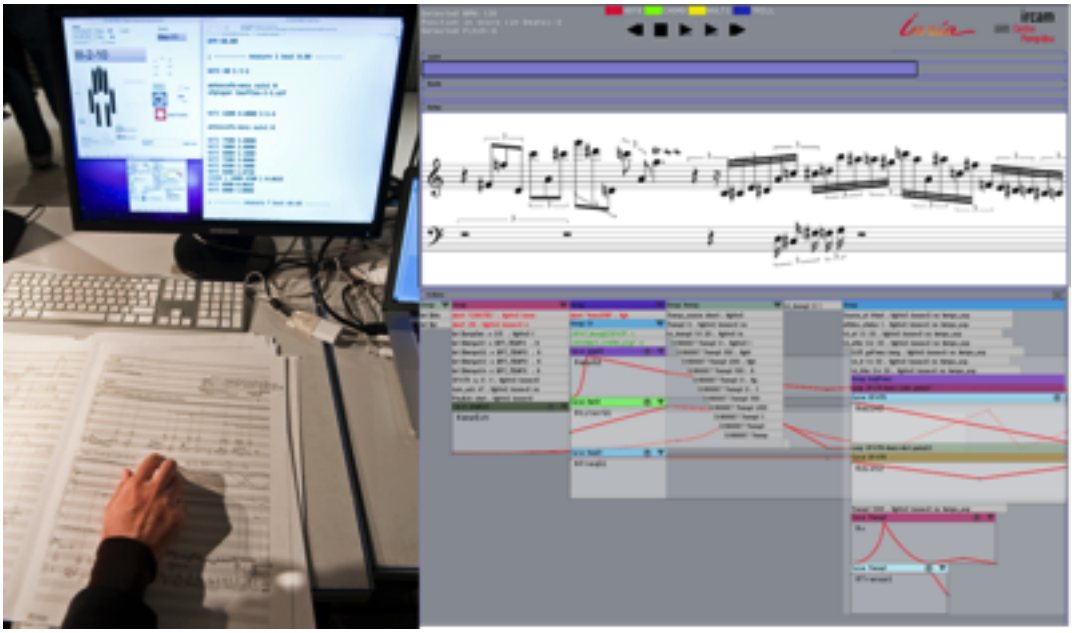
Œuvres musicales interactives, accompagnement automatique, pédagogie musicale.

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 ;
- Séquencement interactif des partitions multimédia ;
- Affichage interactif à travers l'environnement NoteAbility Pro ;
- Chargement des partitions MIDI ou MusicXML avec NoteAbility Pro.

Configuration

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



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 battue, 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

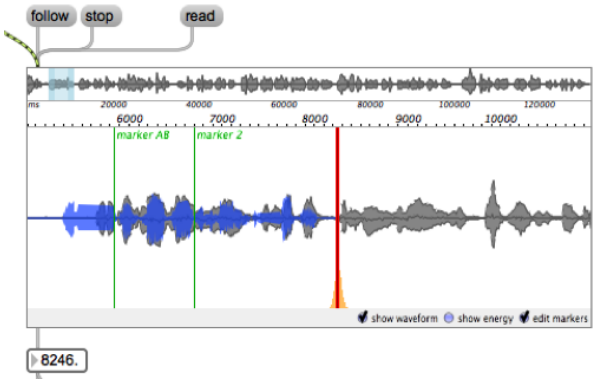
Œuvres musicales et multimédia interactives, musique, danse, contrôle gestuel de la synthèse sonore.

Fonctions principales

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

Configuration

Logiciel Max, MacOSX.



Voice follower~ dans le logiciel Max

MUBU POUR MAX

–

Conception et développement : équipe Interaction son musique mouvement

MuBu (pour « Multi-Buffer ») est un ensemble de modules de représentation et de traitement du signal pour Max autour d'un « container » de données temporelles. Le container de MuBu est optimisé pour la représentation en mémoire de données temporelles, considérant de multiples représentations comme des signaux, des descripteurs, des segmentations et des annotations du son, du geste et du mouvement. Des représentations musicales symboliques simplifiées et des paramètres de contrôle de synthèse et de la spatialisation peuvent être également intégrés.
MuBu intègre aussi un format de plug-in pour l'extraction d'information à partir des sons et des flux de données issus de la captation du mouvement, PiPo (Plugin Interface for Processing Objects), ainsi qu'un ensemble de modules Max qui implémente des extracteurs, des descripteurs audio et des filtres utilisant ce format de plug-in.
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

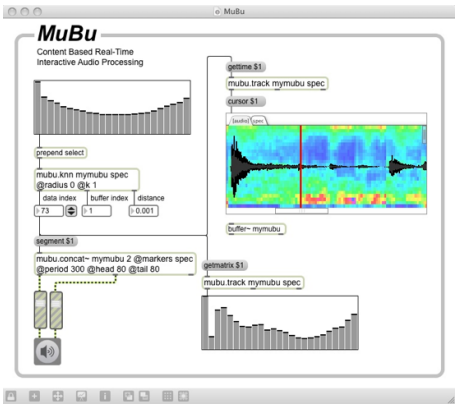
Œuvres musicales et multimédia interactives, synthèse sonore interactive, musique, danse.

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.



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 FTM, Gabor et MnM. L'interaction repose sur une interface simple consistant en l'affichage d'une projection 2D de l'espace de descripteurs, et une navigation avec la souris, où les grains sont sélectionnés et joués par proximité géométrique.

Applications

Œuvres musicales et multimédia interactives, recherche dans les bases de données sonores.

Fonctions principales

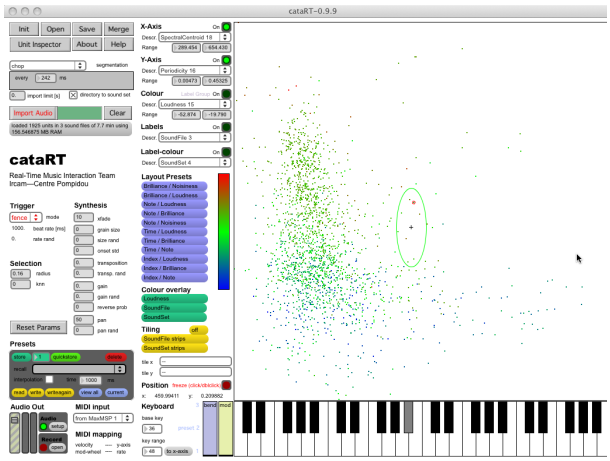
- Importation audio avec segmentation et analyse automatique ;
- Analyse, visualisation, et jeu interactif avec des sons ;
- Exportation des données d'analyse ;
- Composition par navigation interactive dans un espace de descripteurs sonores ;
- Brassages et juxtapositions d'un nombre massif de sons ;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

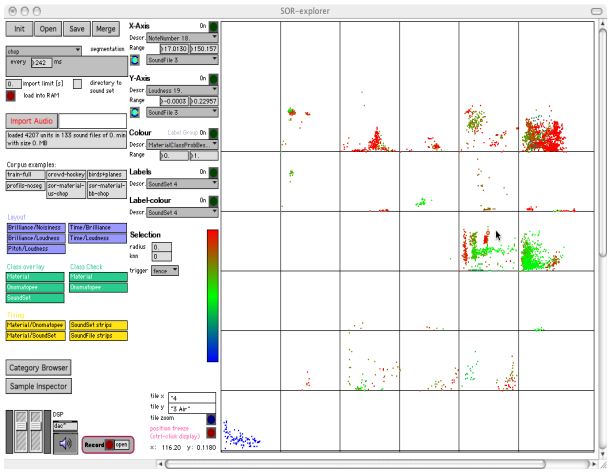
Configuration

- Version application : Mac OSX 10.5 ou supérieur. Universal Binary, compatible Mac PPC, Mac Intel ;
- Version modulaire : Mac OSX 10.4 ou supérieur ou PC Windows avec Max et FTM&Co.

Formats de fichiers audio

- Jusqu'à 32-bit/192 kHz entier et flottant : AIFF, AIFC, Wav, FLAC ;
- Fichiers SDIF pour l'importation de marqueurs de segmentation de 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.





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

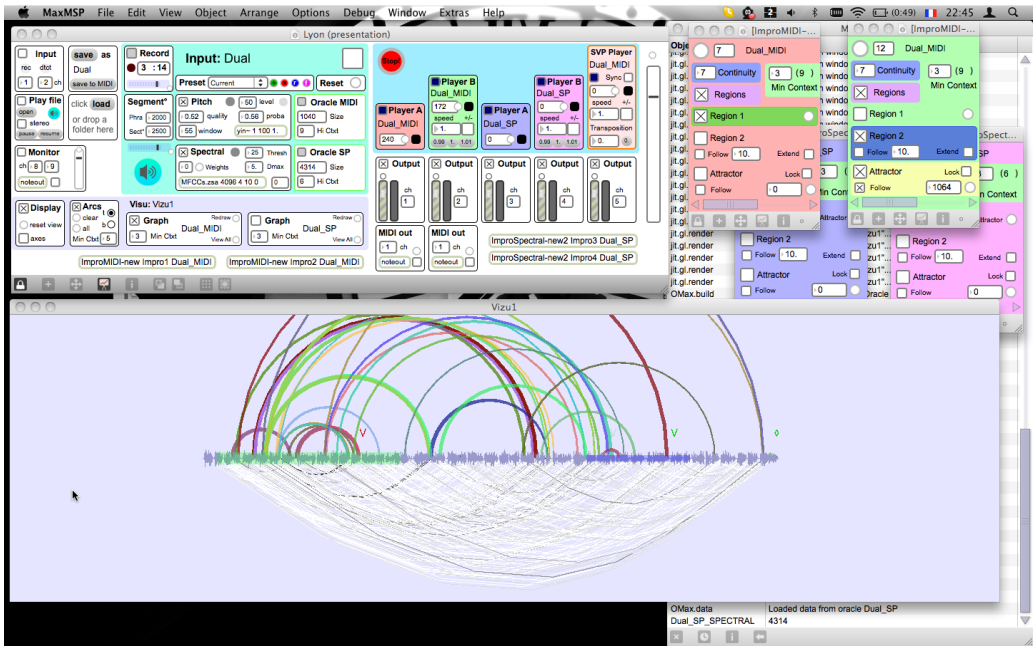
Improvisation avec ordinateur, œuvres musicales interactives, accompagnement automatique.

Fonctions principales

- Écoute artificielle : extraction de descripteurs F0, 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 archivage au format JSon.



L'ÉQUIPE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

(SEPTEMBRE 2016 À AOÛT 2017)

Direction
Hugues Vinet, directeur du département Recherche et développement
Gérard Assayag, directeur de l'UMR STMS

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

Responsables d'équipes
Gérard Assayag, Frédéric Bevilacqua, Nicolas Donin, Thomas Hélie, Axel Roebel, Raphaël Sallé de Chou, Patrick Susini, Olivier Warusfel.

Chercheurs et ingénieurs
Carlos Agon Amado (UPMC), Moreno Andreatta (CNRS), Jean- Julien Aucouturier (CNRS), Mondher Ayari (Univ. Strasbourg), Elie-Laurent Benaroya, Joël Bensoam, Mathieu Bernard, Jose-Luis Besada Portas, Louis Bigo, Georges Bloch (Univ. Strasbourg), Alain Bonardi (Univ. Paris 8), Riccardo Borghesi, Benjamin Boudoir, Jean Bresson, Clément Cannone (CNRS), Baptiste Caramiaux, Thibaut Carpentier (CNRS), Tatiana Catanzaro, (Univ. Campinas), Céline Chabot-Canet, Thomas Coffy, Arshia Cont, Frédéric Cornu, Gilles Degottex, Rémi Desmonet, David Doukhan, Gaël Dubus, José Echeveste, Philippe Esling (UPMC), Laurent Feneyrou (CNRS), Emmanuel Fléty, Jules Françoise, Jérémie Garcia, Matthias Geier, Jean-Louis Giavitto (CNRS), Samuel Goldszmidt, Louise Goupil, Karim Haddad, Thomas Hélie (CNRS), Olivier Houix, Florent Jacquemard (Inria), Olivier Labat, Jean-Philippe Lambert, Joseph Larralde, Fabio Leao Figueiredo (Univ. Sao Paulo), Guillaume Lemaitre, Andreas Lind (CNRS), Marco Liuni (CNES), Mounira Maazaoui, Michelle-Agnès Magalhaes, Mikhail Malt, Gabriel Meseguer Brocal, Enrico Marchetto, Benjamin Matuszewski, Rémi Mignot, Nicolas Misdariis, Jérôme Nika, Markus Noisternig, Nicolas Obin (UPMC), Geoffroy Peeters, Kevin Perros, Charles Picasso, Robert Piéchaud, Emmanuel Ponsot, Sébastien Robaszkiewicz, Francis Rousseaux, David Roze (CNRS), Norbert Schnell, Diemo Schwarz, Marine Taffou (UPMC), Tsubasa Tanaka, Michael Vannier (UPMC), Isabelle Viaud-Delmon (CNRS)

Techniciens et documentalistes
Djellal Chalabi, Camille Dianoux (UPMC), Roseline Drapeau, Sandra El-Fakhouri, Mikhaël Gautier, David Messina, Raphaël Raguin, Arnaud Recher (CNRS), Jean-Paul Rodrigues, Alain Terrier

Doctorants
Pavlos Antoniadis, Luc Ardaillon, Pablo Arias Sarah, Baptiste Bacot, Hélène Bahu, Olivier Baudry, Julia Blondeau, Dimitri Bouche, Pierre Donat-Bouillud, Damien Bouvier, Daniel Cabanzo, Hugo Caracalla, Hélianthe Caure, Axel Chemla-Romeu-Santos, Alice Cohen-Hadria, Léopold Crestel, Philippe Cuvillier, Ken Deguernel, Emmanuel Deruty, Grégoire Genuys, Daniele Ghisi, Lise Hobeika, Vincent Isnard, Céline Jacques, Marguerite Jossic, Frédéric Le Bel, Tristan Lebrun, Raphaël Leiba, Jeanne Maisonhaute, Ugo Marchand, Namur Matos Rocha, Gabriel Meseguer, Lara Morciano, Julian Moreira, Rémy Muller, Charles de Paiva Santana, Clément Poncelet, Laura Rachman, Kevin Sanlaville, Hugo Scurto, Maxime Sirbu, Marco Antonio Suarez-Cifuentes, Pierre Talbot, Henrik Von Coler

Chercheurs et doctorants invités
Anne-Sylvie Barthel-Calvet, Jonathan Cross, Edward Large, Pierre-André Taillard, Vincent Tiffon, Alex Chechile, Whitney Coyle, Olivier Migliore, Hai Morgenstern, Alessandro Olto, Nakai Tomoya, Wander Vieira Rodrigues, Oliver Olsen Wolf, Yohan Zeitoun

Stagiaires
Victor Audouze, Maxime Bru, Pierre Carré, Tristan Carsault, Eugénia Eremeeva, Hadrien Foroughmand, Clément Gérard, Sarah Jibodh-Jiaquan, Colin Lardier, Pablo Legoretta, Mortimer Pavlistki-Bell, Anh-Khoa Pascal Pham, Mathieu Prang, Lou Seropian, Michele Tarabella, Andra Vaglio, Marc Wijnand

NOUS CONTACTER : prenom.nom@ircam.fr

DIRECTION R&D
ircam.fr/recherche

Hugues Vinet / Gérard Assayag*
* directeur de l'UMR STMS

Administration
Sylvie Benoit (Ircam)
Anne-Marie Vaudeville (CNRS)

VALORISATION INDUSTRIELLE
ircam.fr/innovations

Frederick Rousseau

ÉQUIPES SCIENTIFIQUES

Espaces acoustiques et cognitifs
Olivier Warusfel

Perception et design sonores
Patrick Susini/ Nicolas Misdariis

Analyse/synthèse des sons
Axel Roebel

Sound Systems and Signals: Audio/Acoustics, InstruMents (S3AM)
Thomas Hélie

Représentations musicales
Gérard Assayag

Analyse des pratiques musicales
Nicolas Donin

Interaction son musique mouvement
Frédéric Bevilacqua

Service informatique
Raphaël Sallé de Chou

CENTRE DE RESSOURCES
ressources.ircam.fr

Responsable
Nicolas Donin

Médiathèque
Roseline Drapeau

INTERFACES RECHERCHE/CRÉATION
forumnet.ircam.fr

Responsable
Grégory Beller

Administration
Stéphanie Leroy
Paola Palumbo

Forum - support logiciel
Karim Haddad

Directeur de la publication Frank Madlener **Responsable de la publication** Hugues Vinet **Mise en page** Olivier Umecker
Reprographie Jean-Paul Rodrigues **Couverture** BelleVille © photographie Thinkstock

IRCAM | DÉPARTEMENT RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT
1, place Igor-Stravinsky 75004 Paris, France | standard +33 (0)1 44 78 48 43

www.ircam.fr

Centre Pompidou 40