

Rencontres Maths-Industrie

Monday 13 March 2017 - Monday 13 March 2017

Ecole Polytechnique

Book of Abstracts

Contents

3D Sound Labs - Personnalisation des HRTF	1
Aspic Technologies - Framework de programmation visuelle en audio numérique	1
CEA - LADIS: Analyse du signal sonore pour la reconnaissance de contextes	1
CMAP - Equipe X-Audio - Calcul numérique pour l'audio et l'acoustique	2
CNSMDP - HedRot et Mybino, une collaboration Maths-Industrie prometteuse	3
Dassault Aviation et CMAP - Utilisation des équations de Navier-Stokes linéarisées pour l'aéroacoustique : propagation du bruit de moteur d'un avion d'affaire	3
ENSAM - PIMM - L'identification de la dynamique de systèmes non-linéaires: des haut- parleurs au contrôle de la santé des structures.	4
ESI Group - Profil	4
Equipe PANAMA - Parcimonie pour le Signal et la Modélisation Audio	5
France Télévision - Prototype de player accessible	5
IMACS – Ingénierie MATHématique et Calcul Scientifique	5
IRCAM - Correction temps-réel d'un haut-parleur électrodynamique: modélisation, mesures et asservissement	6
IRCAM - EVERTims: open source framework for real-time auralization in architectural acoustics and virtual reality.	6
IRCAM - Modalys	7
IRCAM - The Snail: un nouveau procédé de visualisation des sons	7
L'hypothèse de coparcimonie en traitement du signal acoustique	8
LIP6 - Fiabilité numérique d'un code de propagation d'ondes acoustiques	8
LMS - Rayonnement d'enceintes acoustiques et comportement vibro-acoustique de tables d'harmonie de piano	9
LMSSC - Equipe acoustique - Imagerie acoustique (stationnaire et temporelle), audio 3D, rayonnement d'instruments de musique	10
LaSIE - PyPHS: Un module Python pour la modélisation et la simulation à passivité garantie de systèmes multi-physiques	10

Méthode des éléments finis enrichis pour la propagation moyenne et haute fréquence . .	11
OROS	11
Orah - Equipe recherche	12
Radio France - Productions en son immersif	13
SILKAN – COLD - Implémentation haute performance d’algorithmes MATLAB/SCILAB	13
SiMSEO - La simulation à destination des entreprises	13
Trèves CERA APS - Comprehensive acoustic package optimization methodology	14
Télécom ParisTech - Traitement du signal pour l’étude des instruments de musique. . . .	15
XLiFE++, une librairie C++ pour la simulation d’ondes (entre autres ...)	15

14

3D Sound Labs - Personnalisation des HRTF

Author(s): Renaud Segulier¹

Co-author(s): Slim Ghorbal² ; Xavier Bonjour²

¹ *3D Sound Labs*

² *3D Sound Labs*

Corresponding Author(s): r.seguier@3dsoundlabs.com

3D Sound Labs a pour objectif de devenir un leader des technologies de traitement du signal audio et de sa composante spatiale (Son 3D), avec une spécialisation forte sur les plateformes mobiles et le rendu au casque audio (appelé aussi rendu binaural) en offrant un réalisme inégalé par l'utilisation de capteurs de positions embarqués dans le casque et un moteur de rendu 3D Audio très performant (moteur de rendu binaural).

3D Sound Labs présentera ses travaux de recherche concernant la personnalisation des HRTF (Head Related Transfert Functions). L'objectif est de proposer à l'utilisateur de prendre une série de photos de sa tête et de ses oreilles afin d'en déduire simplement ses HRTF personnalisées.

3D Sound Labs présentera également son casque audio proposant une spatialisation binaural temps réel prenant en compte les mouvements de la tête de l'utilisateur. Un jeu en réalité virtuelle et la visualisation d'un extrait de film en 5.1 donneront la possibilité de juger la qualité de notre spatialisation et la faible latence de nos traitements audio.

22

Aspic Technologies - Framework de programmation visuelle en audio numérique

Marc Muller¹ ; Quentin George¹

¹ *Aspic Technologies*

Corresponding Author(s): marc@aspic.tech

Aspic Technologies développe depuis plusieurs années des outils de traitement sonore pour les applications de réalité virtuelle : algorithmes de propagation sonore temps-réel, pipelines audio sur-mesure, outil de spatialisation pour la vidéo 360.

L'ensemble des outils de la société sont construits sur un framework interne nommé Aspic Liveblocks, comparable à de nombreux outils de programmation visuelle existant.

Très vite cet outil très puissant pour du prototypage a montré ses limites pour le déploiement et la maintenance applicative de plugins packagés, pour la VR. De ce constat est né un produit de l'entreprise nommé Aspic Audiostack. Celui-ci représente une couche d'abstraction permettant la manipulation de diagrammes Liveblocks complexes avec des concepts simples, facilement transposables, permettant la création tant de moteurs audio complets que de briques de traitement isolés.

Ce framework est utilisé pour la construction d'Aspic Engine, le moteur de propagation sonore et d'auralisation de la société. C'est également la brique de base de l'ensemble des outils de spatialisation pour la vidéo 360. La construction de ces deux produits sera utilisée comme exemple.

28

CEA - LADIS: Analyse du signal sonore pour la reconnaissance de contextes

Aurélien MAYOUE¹¹ CEA LIST**Corresponding Author(s):** aurelien.mayoue@cea.fr

Le Laboratoire Analyse de Données et Intelligence des Systèmes (LADIS) a pour ambition de développer une application de reconnaissance de contextes à partir du signal sonore capté par le microphone d'un smartphone.

L'objectif est de connaître en temps réel dans quel environnement se trouve l'utilisateur d'un smartphone parmi les contextes suivant: transport (voiture, bus, métro, train, avion), intérieur (bureau, restaurant, supermarché...), extérieur (rue, hall de gare...).

Les 2 étapes fondamentales de notre approche sont: l'extraction de caractéristiques et la classification.

Les caractéristiques choisies, en plus de leur fort pouvoir discriminant, ont été sélectionnées pour leur robustesse face aux variations d'amplitude du signal. Ce point est fondamental car une variation de 30dB peut être observée selon que le téléphone est posé sur une table ou se trouve dans une poche ou dans un sac.

Pour l'étape de classification, nous nous sommes appuyés sur le fort potentiel de modélisation et de généralisation des réseaux de neurones profonds (DNN). L'enjeu a été de construire une architecture avec un coût de calcul et de stockage limité en accord avec les ressources d'un smartphone.

2

CMAP - Equipe X-Audio - Calcul numérique pour l'audio et l'acoustique

Aussal^{None}**Corresponding Author(s):** matthieu.aussal@polytechnique.edu

L'équipe X-Audio est une nouvelle équipe d'ingénieurs, docteurs et chercheurs rattachés au CMAP de l'École Polytechnique. L'essentiel de ses activités se concentre sur la recherche et le développement de solutions innovantes pour le traitement du signal audio temps réel et le calcul haute performance en acoustique. Dans ces deux thématiques, il s'agit donc d'inventer puis de développer de nouveaux algorithmes, issus des dernières avancées de la recherche en mathématiques appliquées. L'objectif est de bénéficier pleinement des ressources offertes par les calculateurs modernes (Cluster HPC comme chip DSP), tout en essayant de programmer dans des langages de haut-niveau, ceci afin de conserver un certain recul dans la programmation.

Plus particulièrement, nous travaillons dans différents domaines comme :

- Le calcul haute performance en éléments finis et équations intégrales (diffraction pour la détection RADAR ou SONAR, calcul de HRTF, sédimentation, etc.)
- Le traitement du signal audio temps réel (spatialisation binaurale, head-tracking, réverbération 3D, etc.)
- Le ray-tracing rapide pour l'acoustique des salles (acoustique de théâtre antique, réalité virtuelle, etc.)

Nous développons pour chacun de ces domaines des prototypes (Matlab, Python, Julia, etc) aussi performants que possible, puis des bibliothèques plus bas niveau selon la nécessité. Nous sommes intéressés par des partenariats à la fois académiques et industriels, autour du calcul et de la modélisation en audio et acoustique.

8

CNSMDP - HedRot et Mybino, une collaboration Maths-Industrie prometteuse

Author(s): Jean-Christophe Messonnier¹

Co-author(s): François Salmon²

¹ *Conservatoire de Paris*

² *ENS Louis Lumière*

Corresponding Author(s): jcmessonnier@cnsmdp.fr

Le service audiovisuel du Conservatoire de Paris (CNSMDP), travaille depuis 25 ans sur les techniques de restitution de l'espace sonore. Aujourd'hui, il collabore avec le département de mathématiques appliquées de l'école Polytechnique sur le sujet du son 3D.

Les deux équipes présentent ensemble un moteur de rendu binaural, MyBino développé par Polytechnique, associé à hedrot, le head-tracker développé par le Conservatoire. A partir d'un contenu audio adapté, ce moteur permet de virtualiser un espace audio 3D où les sources sonores peuvent être perçues en dehors de la tête de l'auditeur, dans son espace réel.

La présentation sera accompagnée d'une démonstration du système. Le plug'in VST et l'application sont d'ores et déjà disponibles sur la page suivante :

<http://www.cmap.polytechnique.fr/xaudio/mybino/>

27

Dassault Aviation et CMAP - Utilisation des équations de Navier-Stokes linéarisées pour l'aéroacoustique : propagation du bruit de moteur d'un avion d'affaire

Author(s): Aloïs Bissuel¹

Co-author(s): Allaire ; Floriane Rey² ; Laurent Dumas² ; Sébastien Barré²

¹ *CMAP/Dassault-Aviation*

² *Dassault Aviation*

Corresponding Author(s): alois.bissuel@dassault-aviation.com

Les contraintes réglementaires sur le bruit des avions au décollage et à l'atterrissage sont de plus en plus sévères. Pour les satisfaire, il est nécessaire d'avoir des outils de prédiction du bruit. Au décollage, la principale source de bruit est le moteur, application qui sera présentée ici. Les modes acoustiques émis par la soufflante sont considérablement réfractés par les gradients d'écoulement du jet moteur. Il est donc nécessaire de résoudre les équations d'Euler ou de Navier-Stokes linéarisées pour ces calculs de propagation acoustique.

Le code Aether, développé par Dassault Aviation, est un code éléments finis stabilisés par SUPG pour résoudre les équations de Navier-Stokes. Il a été linéarisé par différentiation automatique pour être appliqué à des problèmes d'aéroélasticité, d'optimisation et d'aéroacoustique.

Dans le cadre d'une thèse CIFRE entre le CMAP (École Polytechnique) et Dassault Aviation, un travail sur ce code linéarisé a permis d'accélérer et de rendre robuste les calculs d'aéroacoustique afin de les rendre utilisable dans un cadre industriel. Les différentes étapes d'un calcul aéroacoustique ainsi que des résultats seront présentés sur une configuration industrielle.

10

ENSAM - PIMM - L'identification de la dynamique de systèmes non-linéaires: des haut-parleurs au contrôle de la santé des structures.

Marc Rébillat¹

¹ PIMM, ENSAM / CNRS / CNAM

Corresponding Author(s): marc.rebillat@ensam.eu

Les hypothèses généralement retenues en acoustique supposent un comportement linéaire de l'objet étudié (haut-parleur, structure vibrante, propagation d'ondes,...) et l'absence de bruit. Or, les objets physiques étudiés dans le cadre de l'acoustique sonore ou ultrasonore ne sont jamais vraiment linéaires et les mesures sont toujours réalisées en présence de bruit. Or ces non-linéarités peuvent jouer un rôle majeur dans de nombreuses applications industrielles. Dans le cas des haut-parleurs, comprendre les non-linéarités qu'ils génèrent est par exemple indispensable pour pouvoir les compenser. Dans le cas du contrôle de la santé des structure, la détection de l'apparition de non-linéarités peut permettre une détection efficace d'un endommagement. De nouvelles méthodes pour l'identification de la dynamique de systèmes non-linéaires dans le contexte de l'acoustique et en présence de bruit de mesure est donc un challenge potentiellement intéressant à relever en partenariat avec des acteurs du monde industriel.

6

ESI Group - Profil

Sébastien Chaigne¹

¹ ESI Group

Corresponding Author(s): sca@esi-group.com

ESI Group est le principal créateur mondial de **logiciels et services de Prototypage Virtuel**. Spécialiste en physique des matériaux, ESI a développé un savoir-faire unique et innovant afin d'aider les industriels à **remplacer les prototypes réels par des prototypes virtuels**, leur permettant de fabriquer, assembler et tester leurs produits dans des environnements différents.

ESI Group dispose au sein de son portefeuille de **nombreuses technologies complémentaires** permettant d'atteindre cette vision : modélisation **éléments finis explicite** par exemple pour le crash et l'emboutissage, **implicite** pour la mécanique du contact, la statique non linéaire et la dynamique ; modélisation **volume finis** ou **éléments finis d'arête** par exemple pour la dynamique des fluides et la fonderie ; **éléments de frontière** par exemple pour l'acoustique ou l'électromagnétique etc.

Aujourd'hui couplé à la Réalité Virtuelle, connecté aux modélisations par systèmes ("1D"), et bénéficiant de techniques d'analyses massives de données, le Prototypage Virtuel devient immersif et interactif : il permet aux clients d'ESI de **mettre leurs produits à l'épreuve pour mieux garantir leur fiabilité**, leur **performance**, et pour **anticiper leur entretien et réparations**.

29

Equipe PANAMA - Parcimonie pour le Signal et la Modélisation Audio

Rémi GRIBONVAL¹¹ *Inria***Corresponding Author(s):** remi.gribonval@inria.fr

PANAMA (Parcimonie et Nouveaux Algorithmes pour le Signal et la Modélisation Audio) est une Equipe-Projet commune entre Inria et le CNRS localisée à l'IRISA à Rennes. S'appuyant sur une culture scientifique à l'interface entre modélisation audio et traitement du signal mathématique, PANAMA développe des techniques algorithmiques efficaces aux fondations mathématiques solides pour modéliser, acquérir et traiter des signaux de grande dimension, avec un fort accent sur:

- l'analyse et le traitement de signaux audio et musicaux
- les problèmes inverses en acoustique, la séparation de sources sonores, et la localisation de sources sonores
- la modélisation parcimonieuse structurée pour le traitement de la musique et des signaux acoustiques
- la réduction de dimension pour l'échantillonnage compressé et l'apprentissage compressé
- le traitement du signal sur graphes

Quelques exemples récents de travaux issus de l'équipe illustrent nos activités:

- dé-saturation audio haute-qualité temps-réel par régularisation co-parcimonieuse;
- localisation de sources en environnement réverbérant complexe par régularisation co-parcimonieuse ;
- algorithmes d'apprentissage de transformées rapides ;
- algorithmes de clustering compressif et de clustering spectral compressif à performance garantie.

<https://team.inria.fr/panama/>

32

France Télévision - Prototype de player accessible

Matthieu Parmentier¹¹ *France Télévision*

Le Media4Dplayer a été imaginé et développé par un consortium emmené par France TV associant Dotscreen, Ateame, Telecom Sud Paris, le laboratoire CHArt/Lutin et le groupe La Poste. Financé en partie par BPI France et la région Île de France, ce prototype propose aux personnes en situation de handicap ponctuel ou permanent d'accéder aux contenus multimédia plus facilement.

Conçu à l'aide des technologies HTML5/JavaScript, ce lecteur multi-flux, multi-accessible, a été publié sous licence opensource fin 2016.

23

IMACS – Ingénierie MATHématique et Calcul Scientifique

Toufic ABOUD¹

¹ IMACS

IMACS est une société spécialisée en calcul scientifique et ingénierie mathématique. Grâce à un investissement soutenu en recherche interne et collaborative, nous développons et maintenons en conditions opérationnelles des chaînes de calcul performantes et robustes intégrant le meilleur de l'état de l'art mathématique et informatique. Potentiels retardés, formulations BEM innovantes, estimateurs *a posteriori* et adaptation de maillage, solveurs rapides et parallèles FMM, H-matrices... font partie de notre boîte à outils.

Nos solutions sont utilisées en contexte industriel pour diverses applications notamment en acoustique et en électromagnétisme. IMACS fournit ses produits et des services à une large palette d'industriels, en France : les Business Units d'Airbus Group, EDF, PSA Peugeot Citroën, Renault, Safran Aircraft Engines, Thalès Systèmes Aéroportés... et dans le monde : General Motors, Ford Motors, Jaguar Land Rover, Fiat, Opel, Valeo, Samsung, Hyundai, KUMHO, PATAAC, Pan Asia, TOYO Tire, Fujitsu Ten, Panasonic, Mitsubishi...

IMACS a démarré comme une spin-off du centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole Polytechnique (CMAP). Elle emploie aujourd'hui 14 ingénieurs-chercheurs.

18

IRCAM - Correction temps-réel d'un haut-parleur électrodynamique: modélisation, mesures et asservissement

Author(s): TRISTAN LEBRUN¹

Co-author(s): Antoine Falaize ² ; Nicolas Papazoglou ³ ; Thomas Hélie ¹

¹ IRCAM

² LaSIE

³ 48 VOLTS

Corresponding Author(s): tristan.lebrun@ircam.fr

Les haut-parleurs sont des systèmes électro-acoustiques présentant des distorsions à fort niveau d'excitation, ce qui limite leur plage de fonctionnement en régime linéaire. L'objectif de cette étude est

de compenser les non-linéarités responsables de ces distorsions.

Pour cela, on établit un modèle physique non linéaire du transducteur, formulé par les Systèmes Hamiltoniens à Ports, qui garantissent la passivité du système. En parallèle, un banc de mesure est développé pour estimer les paramètres du modèle, puis une correction est élaborée par une méthode de planification de trajectoire appelée platitude.

La correction fournit d'excellents résultats numériques, et son implantation sur le banc expérimental permet une réduction notable des distorsions observées.

11

IRCAM - EVERTims: open source framework for real-time auralization in architectural acoustics and virtual reality.

David Poirier-Quinot¹ ; Markus Noisternig¹

¹ IRCAM

Corresponding Author(s): davipoir@ircam.fr

EVERTims is an open source framework for 3D models auralization, providing real-time feed-back on the would be acoustics of any given room during its creation.

The framework is based on three components: a Blender add-on, a C++ raytracing client and an auralization engine. While designing the 3D room model in Blender, the add-on continuously uploads geometry and materials details to the raytracing client. Based on these information, the client simulates how acoustic waves propagates there, from sources to listeners objects positioned in the Blender scene. The results of this simulation are then sent to the auralization engine that reconstructs the Ambisonic sound field as experienced at any given listener's position for binaural listening. The framework also takes advantage of the Blender Game Engine to support real-time in-game auralization for a final interactive exploration of the designed model.

EVERTims was originally developed as a collaboration between LIMSI/CNRS and the TKK/Department of Media Technology. It has now become a joint effort between researchers there and at the IRCAM institute. As for today, our goal is to continue to improve the engine, to support research in VR and room acoustics, making sure it remains a free and open source software: <https://evertims.github.io/website/>

19

IRCAM - Modalys

Joel Bensoam¹

¹ Ircam

Modalys est un environnement permettant de créer des instruments virtuels – proprement inouïs! – 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 ; Modalys se charge alors pour vous de leur donner vie et de calculer leurs vibrations sonores. En combinant ces différents objets physiques résonnants et en spécifiant le type d'interaction (frappe, frottement, embouchure, anche, etc.), l'utilisateur construit un instrument virtuel et décide ensuite de la façon dont il est joué et contrôlé. En outre, Max/MSP et Open-Music 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 : des sons inouïs
- Recherche & développement scientifiques : comparaison des modes déterminés théoriquement et mesurés

Plus d'infos sur <https://www.ircam.fr/recherche/equipes-recherche/systemes-et-signaux-sonores-audioacoustique-instruments-s3am/>

9

IRCAM - The Snail: un nouveau procédé de visualisation des sons

Author(s): Thomas HELIE¹

Co-author(s): Charles Picasso²

¹ CNRS

² IRCAM

Corresponding Author(s): thomas.helie@ircam.fr

Le logiciel « The Snail » est une application temps réel qui offre de nouvelles possibilités pour accorder des instruments de musique, travailler l'intonation, mais aussi visualiser la musique et les sons en temps réel. Il intègre une technologie d'analyse spectrale (brevetée par le CNRS) combinée à un affichage sur un abaque en spirale: le centre correspond aux fréquences les plus basses, l'extérieur aux fréquences les plus aigües, et chaque tour correspond à une octave.

Après avoir décrit le principe et fourni quelques éléments techniques, on donnera une démonstration sur un corpus sonore varié.

Puis on pourra aborder à la demande, les questions de réglage de l'analyseur et des modes de visualisation, selon utilisations visées (accordage, inharmonicité, situation de jeu, etc). Ces questions et les tests pourront être traités sur les objets sonores et instruments apportés et joués par l'auditoire.

Thomas Helie, Charles Picasso,
Laboratoire des Sciences et Technologies de la Musique

30

L'hypothèse de coparcimonie en traitement du signal acoustique

Author(s): Nancy Bertin¹

Co-author(s): Rémi GRIBONVAL²

¹ CNRS UMR 6074 - IRISA

² Inria

Corresponding Author(s): nancy.bertin@irisa.fr

Un grand nombre de tâches en traitement du signal audio ou acoustique peuvent s'exprimer comme un problème inverse sous-déterminé dont la résolution s'appuie sur une hypothèse de régularisation. Parmi les régulariseurs possibles, l'hypothèse dite de « parcimonie », décrite comme un modèle de « synthèse » du signal x à partir d'un dictionnaire D ($x = D\alpha$, α ayant peu de coefficients non nuls) s'est largement répandue. Nous nous intéressons à un modèle alternatif à cette hypothèse, le modèle dit « coparcimonieux ». Dans ce modèle, on suppose au contraire qu'il est possible de réaliser une « analyse » du signal x , au moyen d'un opérateur linéaire A tel que le vecteur résultant de l'analyse, $z = Ax$, possède beaucoup de coefficients nuls. Ce modèle présente un grand nombre de propriétés avantageuses, notamment computationnelles et en termes d'intégration de connaissances physiques. Nous illustrons son potentiel sur des applications de désaturation et de débruitage audio, ainsi que de localisation de sources sonores en environnement réverbérant dans des cas difficiles (obstacles entre les sources et les microphones, vitesse du son ou impédances aux bords imparfaitement connues).

7

LIP6 - Fiabilité numérique d'un code de propagation d'ondes acoustiques

Author(s): Fabienne JEZEQUEL¹

Co-author(s): Issam SAID² ; Jean-Luc LAMOTTE¹

¹ LIP6 (Laboratoire d'Informatique de Paris 6)

² University of Houston

Corresponding Author(s): fabienne.jezequel@lip6.fr

L'équipe PEQUAN (PERformance et QUalité des Algorithmes Numériques) du LIP6 (Laboratoire d'Informatique de Paris 6) travaille sur la fiabilité numérique et les performances des codes de calcul scientifique. En particulier, elle développe la bibliothèque CADNA (<http://cadna.lip6.fr>) qui permet d'estimer les erreurs d'arrondi dans un code et de détecter les instabilités numériques qui peuvent survenir à l'exécution. La bibliothèque CADNA implémente l'Arithmétique Stochastique Discrète qui est fondée sur trois exécutions des calculs avec un mode d'arrondi aléatoire. Grâce à la redéfinition des opérateurs arithmétiques et des fonctions, l'utilisation de CADNA dans un code (séquentiel ou parallèle) nécessite peu de modifications, essentiellement des changements de types numériques.

Des problèmes de reproductibilité numérique peuvent se poser lors de la résolution de l'équation des ondes acoustiques. Nous avons montré que les résultats d'un code 3D de propagation d'ondes acoustiques peuvent varier d'une architecture à l'autre, en particulier sur CPU et sur GPU. La cause de ces différences peut alors être difficile à identifier : erreur d'arrondi ou bug ? Grâce à la bibliothèque CADNA, nous avons étudié sur CPU et sur GPU l'impact des erreurs d'arrondi sur ce code de propagation d'ondes acoustiques.

20

LMS - Rayonnement d'enceintes acoustiques et comportement vibro-acoustique de tables d'harmonie de piano

Author(s): Xavier Boutillon¹

Co-author(s): Vincent Roggerone²

¹ LSM - Ecole Polytechnique

² LMS - Ecole Polytechnique

Nous développons au LMS deux axes de recherche en acoustique audio, chacun en liaison étroite avec un acteur du secteur marchand (non académique) et comportant quelques aspects numériques:

- **Rayonnement 3D d'enceintes acoustiques** : Deux modélisations sont actuellement élaborées. La première assimile la forme de l'enceinte à un sphéroïde et le haut-parleur à un piston, permettant ainsi une écriture analytique du rayonnement. La seconde consiste à rendre compte de la diffraction du son par les arêtes. Dans les deux cas se posent des problèmes de convergence de la solution par la prise d'un plus ou moins grand nombre d'harmoniques sphéroïdaux (premier cas) ou d'arêtes successivement émettrices (deuxième cas). Comparée à la simulation numérique par éléments finis de frontière, la première méthode est efficace en basses fréquences et la seconde en hautes fréquences.

- **Comportement vibro-acoustique des tables d'harmonie de piano** : l'objectif est d'élaborer un outil de CAO pour facteurs de piano, capable de prédire les modifications sonores induites par des modifications structurelles apportées à une table d'harmonie. Cette recherche associe des équipes de quatre laboratoires français. On recherche ici un compromis acceptable entre réalisme et fiabilité de la synthèse sonore (en fait, des différences sonores) et temps de calcul associé.

5

LMSSC - Equipe acoustique - Imagerie acoustique (stationnaire et temporelle), audio 3D, rayonnement d'instruments de musique

Christophe Langrenne¹

¹ CNAM

Corresponding Author(s): christophe.langrenne@lecnam.net

L'équipe d'acoustique est rattachée au LMSSC du Conservatoire National des Arts et Métiers (Paris). Spécialisées en imagerie acoustique (antennerie, milieu confiné), les thématiques de recherche et de développement se sont élargies ces dernières années avec l'arrivée de nouveaux chercheurs et doctorants. Tout en privilégiant l'aspect expérimental, les méthodes développées au laboratoire reposent sur des bases théoriques solides (équations intégrales, retournement temporel...). Nos différents axes de développement sont :

- Imagerie acoustique : en stationnaire et temporel, en milieu confiné (séparation de champs, complétion de données)
- Localisation de sources en mouvement : tir de sniper, suivi de trajectoire de drone, détection de signatures acoustiques
- Rayonnement et diffraction : calcul haute performance par méthode multipolaire rapide adaptée aux grands maillages
- Audio3D (simulateur, réalité virtuelle) : noyau ambisonique d'ordre 5 temps-réel (Ambitools) avec captation (sphère de 50 microphones mems) et restitution immersive (sur une sphère de 50 haut-parleurs ou en écoute binaurale)
- Instruments de musique : étude du rayonnement, impédance d'entrée, des instruments de type bois ou cuivre (méthode multimodale, méthode multipolaire rapide)

15

LaSIE - PyPHS: Un module Python pour la modélisation et la simulation à passivité garantie de systèmes multi-physiques

Author(s): Antoine Falaize¹

Co-author(s): Thomas HELIE²

¹ LaSIE, CNRS UMR 7356, ULR

² CNRS

Corresponding Author(s): antoine.falaize@univ-lr.fr

Les systèmes audios incluent les instruments de musique traditionnels (percussions, cordes, vents, voix) et les systèmes électro-acoustiques (amplificateurs de guitares, pédales d'effets, synthétiseurs analogiques). Ces systèmes multi-physiques possèdent une propriété commune : hors des sources d'excitation (les générateurs), ils sont tous passifs.

Nous présentons **PyPHS**, une bibliothèque Python (2.7-3.5, Unix/Windows) qui implémente un ensemble de méthodes automatisées pour la modélisation et la simulation de tels systèmes multi-physiques dans le formalisme des **Systèmes Hamiltoniens à Ports** (SHP). Ce formalisme garantit explicitement la passivité inhérente au système physique original par une séparation claire des phénomènes de stockage/restitution d'énergie, des phénomènes de dissipation et des sources.

Pour la modélisation, on exploite que la connexion de deux SHP est encore un SHP pour modéliser des instruments complets à partir de (i) un dictionnaire de modèles élémentaires et (ii) une méthode dédiée d'analyse de graphes.

Pour la simulation, une méthode numérique qui préserve la structure passive des SHP à temps discret a été développée, garantissant ainsi la passivité/stabilité des simulations (pour lesquelles le code C++ est généré automatiquement).

31

Méthode des éléments finis enrichis pour la propagation moyenne et haute fréquence

Author(s): Emmanuel Perrey-Debain¹

Co-author(s): Benoit Nennig² ; Jean-Daniel Chazot¹

¹ UTC

² Supméca

Corresponding Author(s): emmanuel.perrey-debain@utc.fr

Les méthodes de discrétisation conventionnelles telles que la méthode des éléments finis ou celle des éléments de frontière se trouvent très vite limitées pour traiter des problèmes à moyenne ou haute fréquence dû au coût informatique exorbitant que celles-ci occasionnent. Les années 90 ont vu l'émergence de nombreuses méthodes alternatives pour palier ces difficultés (méthodes itératives rapides, décomposition de domaine, parallélisation,...). Parmi ces développements, l'application de la PUFEM (Partition of Unity Finite Element Method) pour la résolution de l'équation de Helmholtz a montré des améliorations considérables puisque qu'elle permet d'obtenir des solutions numériques de très bonne qualité tout en maintenant des faibles niveaux de discrétisation. Dans cette méthode, l'espace fonctionnel est construit en multipliant les fonctions de forme classique pour les éléments finis par des fonctions oscillantes, solutions particulières du problème homogène. Ainsi, les ondes planes sont des fonctions de choix pour un certain nombre d'équations d'onde (acoustique, élastodynamique, onde électromagnétique, ondes de Biot,...). Des études de convergence montrent que le nombre d'ondes planes augmente linéairement avec la fréquence pour des problèmes plans et quadratiquement en trois dimensions.

12

OROS

Author(s): Alain COUPAT¹

Co-author(s): Chaoran DU¹

¹ OROS

Corresponding Author(s): alain.coupat@oros.com

OROS (www.oros.com) est depuis 1985 une société française qui conçoit, fabrique et commercialise à l'international (85% export) des analyseurs vibro-acoustiques haut de gamme dans des configurations de 4 à 1000 voies et les suites logicielles associées.

Ses marchés sont principalement

- Energie&Process,
- Marine,
- Aerospace,
- Transports terrestres,
- Industrie manufacturière,

...avec une liste impressionnante de références prestigieuses.

Les applications extrêmement variées couvrent tout le cycle de vie des produits grâce à une conception robustes et des capacités multi-analyse temps réel en configuration distribuée, optimisées pour un travail en équipe à forte productivité (Wifi, médias amovibles, gestion/partage des données, rapports).

Reposant sur des techniques très avancées de traitement de signal (avec un très haut niveau de parallélisme) aux fondements théoriques éprouvés, appliquées à des signaux de capteurs conditionnés par des étages d'électronique analogique sophistiqués aux caractéristiques métrologiques soignées, les résultats d'analyse sont précis, complets, avec le niveau de détail ou de synthèse souhaité.

Les suites logicielles (ouvertes à une programmation externe) couvrent un très large spectre de cas d'utilisation:

- Sound Intensity, Sound Power, 1/N octave, Sound Quality, Beamforming, Holography
- Modal (SIMO, MIMO, OMA, ODS), Transfert Path Analysis
- Rotating (Synchronous Order, Muktiplan Balancing, Torsion & twist, Orbit & Gap
- Reciprocating Machines (Wigner-Ville)
- NVH...

17

Orah - Equipe recherche

Lucas McCauley¹

¹ *VideoStitch | Orah*

Corresponding Author(s): lucas@orah.co

Orah est un leader dans les solutions de réalité virtuelle. Fondée en 2012 sous le nom de VideoStitch, la société s'est rapidement imposée comme un important fournisseur de logiciels de création vidéo à 360° en temps réel et en postproduction de haute qualité. Avec Orah 4i, il est entré sur le marché du matériel en 2016, offrant la première caméra 4K tout-en-un conçue pour le streaming en direct VR, portant une attention particulière à la captation et diffusion d'audio immersif (ambisonic) en incorporant quatre microphones et des algorithmes de traitement du signal. Orah fournit donc une solution pour chaque scénario de la production vidéo VR sur le marché à ce jour. Sa clientèle s'étend de petites maisons de production à Fortune 500 sociétés dans plus de 62 pays, principalement de

l'industrie du divertissement et des médias. Initialement fondée à Paris, Orah est maintenant basée en Californie.

25

Radio France - Productions en son immersif

Frederic Changenet¹

¹ *Radio France*

Depuis plusieurs années, Radio France est impliqué dans le domaine du son immersif. De l'écriture à la distribution en passant par la production, ce sont maintenant plus de 200 productions labellisées *nouvOson* que nous donnons à entendre à nos auditeurs en binaural et multicanal sur le site <http://hyperradio.radiofrance.fr/son-3d/> ou dans nos studios lors de séances d'écoutes publiques et de concerts live.

Nous vous proposons un tour d'horizon des différents modes de production et de distribution à l'oeuvre dans ce contexte, ce qui permettra de pointer les évolutions qui nous semblent nécessaires tant du point de vue technique qu'éditorial.

21

SILKAN – COLD - Implémentation haute performance d'algorithmes MATLAB/SCILAB

Béatrice Creusillet¹

¹ *Silkan*

COLD est un compilateur permettant de générer automatiquement des implémentations optimisées et parallèles d'algorithmes conçus dans des DSL (Domain Specific Language) numériques comme Scilab ou MATLAB. Il est le fruit de plusieurs années d'une R&D menée en partenariat avec des industriels et les meilleurs spécialistes français de la compilation et de l'analyse statique de code.

La caractéristique principale de COLD est de permettre à un développeur connaissant bien son algorithme, mais non spécialiste de la programmation haute performance, d'en obtenir instantanément et sans sur-travail notable une instanciation performante sur une machine cible.

L'usage de COLD apporte trois avantages majeurs qui en font un outil de choix pour dynamiser la montée en TRL de produits de la recherche :

- accélération notable des phases de validation sur des données de grande taille
- réduction drastique du temps de mise à disposition d'un prototype évaluable en conditions réelles
- élimination de la double maintenance conjointe de l'algorithme et de ses implémentations opérationnelles

Nous présenterons rapidement les caractéristiques techniques de COLD qui permettent l'optimisation et la parallélisation automatique, puis nous détaillerons les niveaux de performance obtenus par le code généré sur un ensemble d'applications de traitement du signal (radar, image), ainsi que les principes généraux en permettant un usage optimal. Nous concluons par un bref aperçu des évolutions en cours, et des modalités pratiques d'accès aux services de COLD.

16

SiMSEO - La simulation à destination des entreprises

Elise QUENTEL¹

¹ *Genci*

Corresponding Author(s): elise.quentel@genci.fr

Le programme SiMSEO est un dispositif national d'accompagnement, piloté par Genci et Teratec.

Lancé dans le cadre des Programmes d'Investissements d'Avenir (PIA) par le Commissariat Général à l'Investissement, SiMSEO a pour objectif d'accompagner les TPE / PME / ETI vers la simulation numérique.

Le programme, qui subventionne les projets des entreprises à hauteur de 50% (avec possibilité de cumuler avec le Crédit Impôt Recherche et le Crédit d'Impôt Innovation), propose l'accompagnement suivant :

- Sensibilisation
- Formation
- Accès à des offres de services sectorielles (logiciels commerciaux)
- Accompagnement de proximité sur mesure :
 - Etude du processus industriel, choix des outils logiciels
 - Expertise (avec accords de confidentialité)
 - Accès à des moyens de calcul

7 plateformes régionales ont été lancées par Genci afin de réaliser l'accompagnement sur mesure : Ile-de-France, Auvergne-Rhône-Alpes, Grand-Est-Reims, Grand-Est-Strasbourg, Normandie, Nouvelle Aquitaine et Occitanie.

Les PME issues des régions Bretagne, Bourgogne-Franche-Comté, Centre-Val-de-Loire, Corse, Hauts-de-France, Pays-de-la-Loire, PACA sont prises en charge par la plateforme Ile-de-France.

13

Trèves CERA APS - Comprehensive acoustic package optimization methodology

ARNAUD DUVAL¹

¹ *Trèves CERA APS*

Corresponding Author(s): arnaud.duval@treves-group.com

Developing acoustically effective acoustic materials require not only a deep knowledge in vibro-acoustics, but also in the product-process parameters allowing the manufacturing of these optimized materials. Simulating the processes like foaming or thermoforming and link the corresponding results with the performance of the future feasible acoustic package is now key. For the latter, micro-macro approaches enable the chemist and the acoustic engineer to speak the same language using microstructure morphologies and converge together to an optimum poroelastic material design. The computed Biot parameters can then be integrated in large vibro-acoustic broadband simulation models, for determining the best acoustic multi-layer concepts and their optimal localization for weight reduction purpose for example. This comprehensive acoustic package optimization methodology will be illustrated in this presentation.

26

Télécom ParisTech - Traitement du signal pour l'étude des instruments de musique.

Bertrand David¹¹ *Télécom ParisTech*

A Télécom ParisTech, le thème de recherche qui concerne l'analyse de données audio et le traitement du signal s'intéresse aux méthodes de décomposition de données, d'apprentissage de représentations et de modélisation paramétrique pour des applications variées (séparation de sources, l'extraction d'information musicale ou MIR, l'analyse de scènes sonores, l'acoustique musicale, l'analyse de signaux physiologiques, notamment électro-encéphalographiques (EEG) et la transformation de signaux audio).

Les méthodes développées (Haute Résolution, Décomposition en matrice non négatives) trouvent des applications dans l'étude des signaux —de vibration ou acoustique— émis par les instruments de musiques. Nous présenterons ici quelques une de ces applications.

24

XLiFE++, une librairie C++ pour la simulation d'ondes (entre autres ...)

Nicolas SALLES¹¹ *ENSTA-ParisTech***Corresponding Author(s):** nicolas.salles@ensta-paristech.fr

Dans le cadre d'une collaboration de longue date, le laboratoire POEMS (Propagation des Ondes : Etude Mathématique et Simulation) et l'IRMAR (Institut de Recherche Mathématique de Rennes) développent une librairie de calcul éléments finis en C++ (XLiFE++ acronyme de eXtended Library of Finite Elements in C++). Il s'agit d'une librairie de calcul généraliste, flexible, orientée pour les ingénieurs/chercheurs (nécessitant l'écriture d'une formulation variationnelle) mais pensée pour simplifier l'utilisation. Le développement d'XLiFE++ a également profité d'un partenariat avec le monde industriel via la participation au projet européen SIMPOSIUM.

XLiFE++ est un outil de prototypage fournissant des méthodes de résolution de problèmes 1D, 2D et 3D par éléments finis, éléments finis de frontière, éléments spectraux ainsi qu'une prise en compte de toutes les conditions essentielles linéaires aux bords (Dirichlet, transmission, moment, quasi-périodicité ...). Les conditions transparentes (PML, Représentation intégrale, opérateur Dirichlet-to-Neumann) sont simples à utiliser. La possibilité de coupler la méthode des éléments finis avec la méthode des éléments de frontière est un atout de cet outil. XLiFE++ fournit notamment tous les outils courants nécessaires à la simulation de la propagation des ondes (acoustiques, élastiques, électromagnétiques).

Une présentation de la librairie agrémentée d'exemples relatifs à l'acoustique sera effectuée.