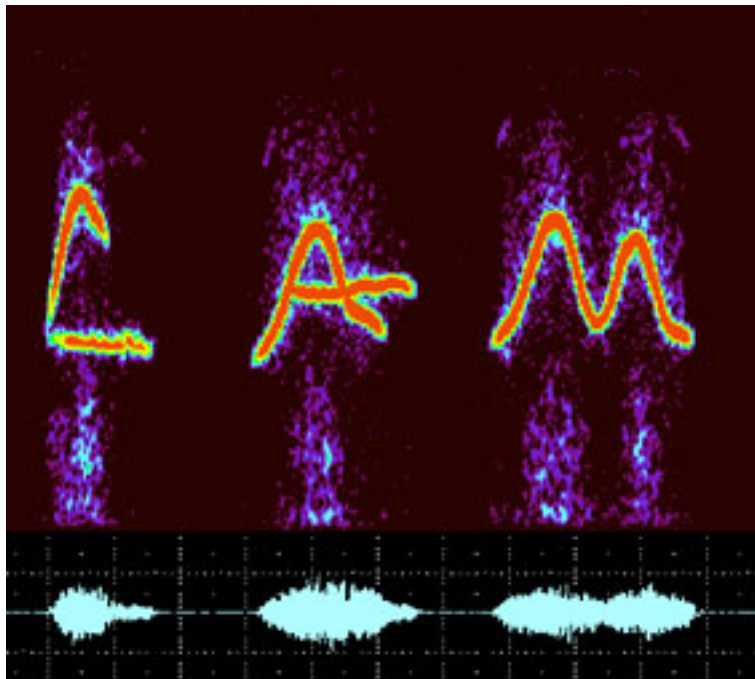


# Laboratoire d'Acoustique Musicale

## Rapport quadriennal d'activité Années 2000-2003



<http://www.lam.jussieu.fr>

**Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)**  
**C. N. R. S. (SPI et SHS)**  
**Ministère de la Culture et de la Communication**

Adresse : 11 Rue de Lourmel, 75015 – PARIS; Tél: 01 53 95 43 20; Fax 01 45 77 16 59



# Table des matières

<b>I - PRÉSENTATION DU LAM.....</b>	<b>5</b>
1 - "DE LA MUSIQUE AVANT TOUTE CHOSE" .....	7
2 - HISTORIQUE ET DÉVELOPPEMENT DU LABORATOIRE.....	8
3 - LES RÉCENTS ÉVÉNEMENTS .....	9
3.1 <i>Organisation</i> .....	9
3.2 <i>Mouvements de personnels</i> .....	10
3.3 <i>Intégration du LCPE</i> .....	10
3.4 <i>Enceintes acoustiques</i> .....	11
4 - LES THÈMES DE RECHERCHE.....	11
4.1 <i>Instruments de musique et voix</i> .....	12
4.2 <i>Perception et cognition</i> .....	13
4.3 <i>Techniques audio</i> .....	14
5 - PERSPECTIVES .....	15
<b>II -BILAN DES RECHERCHES.....</b>	<b>19</b>
1 - INSTRUMENTS DE MUSIQUE ET VOIX.....	21
1.1 <i>Présentation du thème</i> .....	21
1.2 <i>Instruments à vent</i> .....	22
1.3 <i>Instruments à cordes</i> .....	32
1.4 <i>Xylophone</i> .....	41
1.5 <i>Voix</i> .....	42
2 - QUALITÉ SONORE ET ENVIRONNEMENT .....	59
2.1 <i>Environnement sonore</i> .....	59
2.2 <i>Étude de la qualité sonore des instruments de musique à cordes</i> .....	63
2.3 <i>Perception et voix</i> .....	69
3 - TECHNIQUES AUDIO .....	73
3.1 <i>Conservation et traitement des enregistrements</i> .....	73
3.2 <i>Prise et restitution du son</i> .....	76
<b>III - BILAN QUANTITATIF.....</b>	<b>81</b>
1 - PUBLICATIONS DU LAM (2000-2003) .....	83
1.1 <i>Journaux à comité de lecture</i> .....	83
1.2 <i>Communications avec actes</i> .....	84
1.3 <i>Communications sans actes</i> .....	86
1.4 <i>Conférences invitées</i> .....	86
1.5 <i>Ouvrages collectifs</i> .....	87
1.6 <i>Autres publications</i> .....	87
1.7 <i>Bases de données</i> .....	88
1.8 <i>Normalisation (autres activités internationales)</i> .....	88
1.9 <i>Rapports</i> .....	88
1.10 <i>Cours</i> .....	89
1.11 <i>Thèses</i> .....	89
1.12 <i>Mémoires</i> .....	89
2 - VALORISATION .....	91
2.1 <i>Brevets</i> .....	91
2.2 <i>Information et culture scientifique et technique</i> .....	91
3 - FORMATION PAR LA RECHERCHE ET ENSEIGNEMENT .....	92
3.1 <i>Enseignement d'acoustique</i> :.....	92
3.2 <i>Autres enseignements</i> :.....	93

## Présentation du LAM

4 - COLLABORATIONS .....	93
5 - CONTRATS DE RECHERCHE, VALORISATION, EXPERTISE .....	95
6 - AUTRES ACTIVITÉS .....	97
<b>IV - PROJETS .....</b>	<b>99</b>
1 - INSTRUMENTS DE MUSIQUE ET VOIX .....	101
1.1 Instruments à vent .....	101
1.2 La voix.....	103
1.3 Instruments à cordes .....	108
2 - PERCEPTION ET COGNITION .....	112
2.1 Sémantique et Objets Sonores (S.O.S).....	115
2.2 Bruits et voix : confort vocal et intelligibilité de la communication .....	120
2.3 Perception de la musique .....	121
2.4 Contraintes langagières et connaissances .....	122
2.5 Constructions langagières et modalités sensorielles .....	124
2.6 Transversalement : Typologies discursives et description de la sensibilité .....	127
2.7 Epistémologie et méthodes.....	128
3 - TECHNIQUES AUDIO .....	132
3.1 Diffusion audio .....	132
3.2 Numérisation d'enregistrements sonores.....	133
3.3 Etudes des disques optiques : projet de formation d'un groupe scientifique .....	133
3.4 Perception de la restauration des enregistrements sonores .....	136
3.5 Restauration des cylindres d'orgue.....	137
3.6 Les insectes xylophages.....	138
3.7 Compression audio et analyse des signaux transitoires .....	138
<b>V - ANNEXE : BILAN DU LCPE .....</b>	<b>141</b>
1 - CONTEXTE THÉORIQUE : SÉMANTIQUE, CATÉGORISATION ET COGNITION .....	143
2 - BIBLIOGRAPHIE (1999-2002).....	146
2.1 Publications majeures .....	146
2.2 Communications avec actes .....	147
2.3 Conférences invitées.....	149
2.4 Autres publications.....	149
3 - ENSEIGNEMENT ET FORMATION À LA RECHERCHE.....	150
3.1 Conférences dans le cadre de la formation à la recherche .....	150
3.2 Directions de thèses.....	150
4 - ORGANISATION DE MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES.....	152
4.1 Séminaire commun "Langues et pratiques langagières", avec EA 1483 .....	152
4.2 Journées du LCPE.....	152
4.3 Séminaires du LCPE .....	153
5 - ACTIVITÉS ÉDITORIALES.....	153
5.1 Cahiers du LCPE.....	153
5.2 Comités de rédaction.....	153
6 - DIFFUSION, VULGARISATION.....	154
7 - EXPERTISES .....	154
8 - PROGRAMMES SCIENTIFIQUES EN COOPÉRATION.....	154
9 - ÉQUIPES DE RECHERCHE PARTENAIRES .....	155
10 - PARTENARIATS INDUSTRIELS, CONTRATS.....	155

# **I - Présentation du LAM**



## 1 - " DE LA MUSIQUE AVANT TOUTE CHOSE "

Le Laboratoire d'Acoustique Musicale rassemble des chercheurs animés d'une même passion pour la musique. La musique y est traitée comme une production culturelle qui est abordée d'un double point de vue, celui des sciences pour l'ingénieur (physique, acoustique) et celui des sciences humaines (psychologie cognitive, linguistique).

La vocation première du Laboratoire d'Acoustique musicale est d'effectuer des recherches sur le fonctionnement des instruments de musique. Les instruments de musique, dont les plus anciens remontent à la préhistoire, sont des objets technologiques et culturels, qui, sous une apparence relativement simple sont l'aboutissement d'un savoir empirique ayant atteint un haut niveau d'élaboration, permettant de produire des sons complexes extrêmement efficace à l'oreille humaine. Ces sons relèvent d'une catégorie de phénomènes très particuliers, la musique, qui ne sont produits qu'à cette fin, et qui introduisent de ce fait une dimension qualitative dont l'évaluation ne relève que de la perception humaine. Dans l'écoute de la musique, l'être humain ne se préoccupe pas de mesure, mais d'identification, d'évaluation, et d'appréciation de la qualité des sons. Le LAM s'intéresse donc à la *qualité sonore*, au niveau de la génération des sons comme à celui de leur perception. La dimension humaine incontournable des phénomènes musicaux pointe ainsi vers des domaines autres que ceux des sciences physiques et mécaniques. De plus aujourd'hui l'analyse de cette qualité passe par l'enregistrement, la reproduction et la conservation des documents sonores et c'est tout naturellement que ces technologies et leurs réalisations font l'objet de recherches du Laboratoire qui s'inscrivent dans les demandes de la tutelle du Ministère de la Culture.

Ainsi sans entrer dans les dimensions artistiques, le caractère nécessairement pluridisciplinaire du champ de recherche que constitue l'acoustique musicale nécessite de prendre en compte des approches et méthodes issues de divers domaines disciplinaires relevant des sciences physiques et des sciences humaines.

Cette politique héritée de la direction précédente reste une des priorités de la nouvelle direction. Elle a en particulier conduit récemment à l'intégration d'une équipe qui vient du département SHS du CNRS et à laquelle une longue collaboration nous liait, avec l'accord et l'appui conjoint des départements SPI et SHS du CNRS, ainsi que de l'ensemble des tutelles. Outre les recherches que nous poursuivons en mécanique, notamment au travers de collaborations dans notre environnement institutionnel immédiat à savoir Paris 6 (LMM, LIMSI), ce développement pluridisciplinaire permet un enrichissement du cadre méthodologique de nos recherches, notamment par l'apport de la linguistique, et

l'élargissement des thématiques au-delà du domaine musical, comme par exemple l'environnement sonore.

C'est à Ferdinand de Saussure que je voudrais emprunter la métaphore de la feuille de papier pour illustrer le cadre conceptuel de la recherche au LAM. L'acoustique musicale est en effet comparable à une feuille de papier, que l'on peut étudier selon le recto ou le verso : le recto représente l'approche physique, c'est-à-dire l'étude des instruments de musique et des sons ; le verso représente l'approche cognitive et linguistique, c'est-à-dire l'étude du sens des sons et des représentations mentales y afférentes.

Ainsi les incitations à la pluridisciplinarité inscrites dans les programmes du CNRS, et la réorganisation de la mécanique qui se prépare sur le campus de Jussieu, créent de nouvelles occasions d'élargir les thématiques du Laboratoire. Le LAM s'y prépare sereinement, en étant attentif à ne pas perdre la spécificité musicale qui définit sa nature profonde.

## **2 - HISTORIQUE ET DEVELOPPEMENT DU LABORATOIRE**

Le LAM a été créé en 1963 dans le Département de Mécanique de la Faculté des Sciences par Emile Leipp, rapidement rejoint par Michèle Castellengo et Jean Sylvain Liénard. Les premières recherches se sont orientées sur le fonctionnement et la spectrographie des instruments de musique (classiques et traditionnels), sur le bruit (gêne des bruits faibles) et sur la parole, avec, dès cette époque, une alliance entre l'utilisation d'une représentation du signal en fréquence/amplitude/temps (le sonagramme) et son interprétation sur le plan perceptif. Par la suite, Jean Kergomard y a soutenu sa thèse sur le champ interne et externe des instruments à vent. L'activité de recherche a connu une grande diffusion grâce aux séminaires du G.A.M. (Groupe d'Acoustique Musicale) et aux différents enseignements mis en place tant au laboratoire que dans diverses institutions professionnelles : Ecoles de cinéma, Conservatoire National Supérieur de Musique.

Dès le départ d'E. Leipp en 1982, une nouvelle équipe se forme autour de M. Castellengo. Cette équipe reçoit le soutien du département SPI du CNRS, auquel s'ajoute rapidement celui du Ministère de la Culture. D'une part la Direction de la Musique subventionne plusieurs projets de recherche, met d'important équipements à disposition du laboratoire, et encourage le développement d'innovations en technique de fabrication d'instruments à cordes ; d'autre part, la Direction du Patrimoine manifeste son souci d'une prise en compte rigoureuse des problèmes d'acoustique au sein de la commission des orgues historiques. Les compétences de l'équipe en acoustique de l'orgue, étendues par la suite aux cloches et carillons lui valent d'être sollicitée régulièrement pour des évaluations de restauration ou de nouvelles implantations d'orgues.

Ces liens institutionnels se formalisent au 1er janvier 1993 par la création d'une Unité Mixte de Recherche entre le CNRS (département SPI), l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC) et le Ministère de la Culture. L'engagement de ces partenaires sur un contrat renouvelable tous les quatre ans garantit un travail à long terme. En 1994, le LAM joue un rôle important dans la création d'un DEA "ATIAM" qui réunit autour de l'IRCAM plusieurs laboratoires opérant en Acoustique, Traitement de signal et Informatique Appliqués à la Musique. Ces deux événements consacrent la reconnaissance d'une discipline originale dans



ses enjeux et ses méthodes, et créent un pôle attractif pour les jeunes chercheurs, les visiteurs étrangers et les spécialistes de disciplines connexes.

Sous l'impulsion de Michèle Castellengo, le LAM développe depuis 1993 un axe de recherche relatif à l'environnement sonore (perception des bruits, acoustique architecturale et urbaine), notamment grâce à l'arrivée de J.D. Polack et à la collaboration avec D. Dubois (LCPE, département SHS du CNRS). Cet axe de recherche initié par le CNRS dans le cadre du PIR Villes a reçu le soutien du Ministère de l'Environnement dans le cadre des programmes PREDIT. En 1997, la Bibliothèque nationale de France installe au LAM ses études sur la conservation et la restauration des enregistrements sonores, et bientôt audiovisuels. En 2003, Danièle Dubois et son équipe sont accueillis au laboratoire.

Les formations initiales des membres permanents du laboratoire sont très variées (musique, physique du solide, physique appliquée, télécommunications, acoustique, mécanique, psychologie cognitive, linguistique...), et il est à souligner que tous, ou presque, ont une double formation, scientifique et musicale, à laquelle ils joignent une pratique musicale active.

Pendant l'opération de désamiantage du campus de Jussieu le laboratoire a été installé au 11 rue de Lourmel où il dispose d'un environnement satisfaisant abritant bureaux, bibliothèque, locaux d'écoute, salles d'expérimentations physiques, ainsi que plusieurs équipements spécifiques : une salle d'écoute sourde (simulations d'ambiances sonores écologiquement valides), une salle d'écoute claire (évaluation de qualité des instruments de musique), une cabine de psychoacoustique, trois studios de traitement des sons, un atelier de lutherie traditionnelle et de matériaux composites, un laboratoire de conservation des documents sonores, un laboratoire photographique et un atelier d'électronique.

## 3 - LES RECENTS EVENEMENTS

### 3.1 Organisation

Depuis le dernier rapport d'activité 1997-2000 et la dernière évaluation du laboratoire par le Comité National, Jean-Dominique Polack est revenu au laboratoire pour en prendre la direction, renonçant du même coup à la chaire d'Electroacoustique de l'Université Technique du Danemark. Cela correspondait au souhait de l'ancienne directrice, Michèle Castellengo, qui n'avait accepté de conserver la direction au delà de 2000 que pour une période intérimaire. Cela correspondait aussi au souhait de nos tutelles qui s'inquiétaient de la succession de Michèle Castellengo à la direction du laboratoire. Et cela correspondait surtout aux recommandations du comité d'évaluation qui considérait la succession de Michèle Castellengo comme *la* priorité du LAM.

Ma première action en tant que nouveau directeur fut donc, avec l'appui de la Délégation Régionale du CNRS (Paris B) et le soutien de l'ancienne directrice, d'organiser un séminaire réunissant l'ensemble des membres du laboratoire avec un consultant extérieur proposé par la Délégation Régionale. L'organisation pratique du laboratoire fut remise à plat, et l'ensemble des projets de recherche rassemblés en 3 thèmes qui émergent naturellement. L'arrivée du LCPE a permis d'affiner la définition des thèmes au cours de plusieurs réunions du conseil de laboratoire pour arriver à une organisation qui reflète la dynamique de travail pluridisciplinaire, et qui permet de mieux intégrer les axes de recherche du LCPE.

### **3.2 Mouvements de personnels**

Le contrat quadriennal en cours se caractérise par une forte rotation de personnels. Xavier Boutillon a quitté le LAM pour le LMS de l'Ecole Polytechnique après une vingtaine d'années passée au LAM ; Claude Valette est parti au Laboratoire d'Astrophysique de Meudon ; Vincent Gibiat a été nommé professeur à Toulouse et n'a donc jamais rejoint le laboratoire – son arrivée était prévue au dernier rapport quadriennal, où il avait développé un programme de recherches ; Daniel Ambroise est parti à la retraite pour raison de santé. Et, deux PRAG nous ont quittés : Bertrand David a été recruté en 2001 comme maître de conférences à l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications ; et Jean Guérard nous a quittés pour l'ONERA en 2002.

Il faut signaler également que Michèle Castellengo, fondatrice du laboratoire, a été admise à la retraite dans la position d'éméritat. Nous continuerons pendant 5 ans à bénéficier de ses compétences et de son expérience.

Par ailleurs, nous nous réjouissons de la création d'un poste de Maître de Conférence pour le laboratoire à l'UPMC, qui a permis le recrutement de Laurent Daudet, et du recrutement d'une Chargée de Recherche CNRS, Nathalie Henrich, en section 34 (SHS). Ces arrivées n'en rendent pas moins nécessaire le recrutement de jeunes chercheurs.

Le laboratoire a également recruté 3 post-doctorants : Brian Katz (Bourse Chateaubriand, MAE), qui vient de l'Université Penn State aux Etats-Unis, après un séjour dans 2 grands cabinets de consultants en acoustique architecturale et qui est maintenant Chargé de Recherche au LIMSI ; Corsin Vogel (ACI Ville, MENRT ; puis subvention MATE) ; et Julien Bensa (financement du CNRS). Nous attendons aussi un professeur invité, Bernard Richardson, en 2003.

### **3.3 Intégration du LCPE**

Danièle Dubois, directrice de recherche au CNRS, ainsi que Jacques Poitevineau, ingénieur d'étude au CNRS, et Philippe Resche-Rigon, technicien, ont rejoint institutionnellement le laboratoire au 1er janvier 2003, avec rétroaction au 1er janvier 2002 pour les deux ITA. Ces trois chercheurs viennent de la section 34 (département SHS) du CNRS.

Cette arrivée fait suite à une collaboration de longue date entre le LAM et l'équipe Langages, Cognitions, Pratiques et Ergonomie (LCPE, URA 1575) dont ils proviennent. Cette collaboration, évoquée lors des derniers rapports et comités scientifiques du laboratoire, a donné lieu à 4 thèses en co-tutelle et de nombreuses publications communes. Cette collaboration fournissait déjà l'ossature de l'un des thèmes du laboratoire.

Les avantages que présente cette intégration institutionnelle au LAM sont importants. D'une part, elle renforce un thème qui reposait sur un seul permanent. D'autre part, le travail scientifique de ces chercheurs ne se restreint pas à la perception sonore, mais englobe le traitement cognitif des phénomènes auditifs ainsi que celui des phénomènes visuels et olfactifs, ouvrant ainsi des perspectives et des comparaisons qui se sont déjà révélées fructueuses par le passé. Enfin, ils arrivent avec des contrats industriels (SNCF, PSA). Dans la dynamique de cette intégration, Danièle Dubois a proposé un programme de recherche intitulé S.O.S. qui a été retenu comme équipe projet dans la RTP 38 des programmes de recherche STIC (cf. infra).

### **3.4 Enceintes acoustiques**

Avec l'arrivée de Jean-Pierre Morkerken, le laboratoire a pris un virage électroacoustique qui complète nos études sur la prise et restitution du son. Bien connu des milieux de l'électroacoustique depuis les années 80 – il est le créateur des enceintes Adeline qui ont équipé en leur temps RadioFrance – Jean-Pierre Morkerken est revenu au laboratoire en mai 2001 avec un concept révolutionnaire d'événements pour enceintes acoustiques. Immédiatement, il a déposé un brevet et le laboratoire s'est fortement engagé dans le développement du concept en le prenant en charge financièrement. En contrepartie, Jean-Pierre Morkerken a rétrocédé le brevet à l'UPMC, où il est maintenant géré par la DRITT.

Cette arrivée vient renforcer le thème 3 du laboratoire (cf. infra) et y apporte une dynamique forte. Il s'agit d'une prise de risque du laboratoire, non seulement au point de vue financier, mais aussi au point de vue scientifique puisqu'une thèse se déroule sur la caractérisation des événements depuis septembre 2001 (G.Pellerin, bourse MESR). Après avoir espéré un temps attacher Jean-Pierre Morkerken de manière permanente au laboratoire, nous optons aujourd'hui pour une création d'entreprise sous l'égide de la DRITT et de l'incubateur AGORANOV rattaché à l'UPMC.

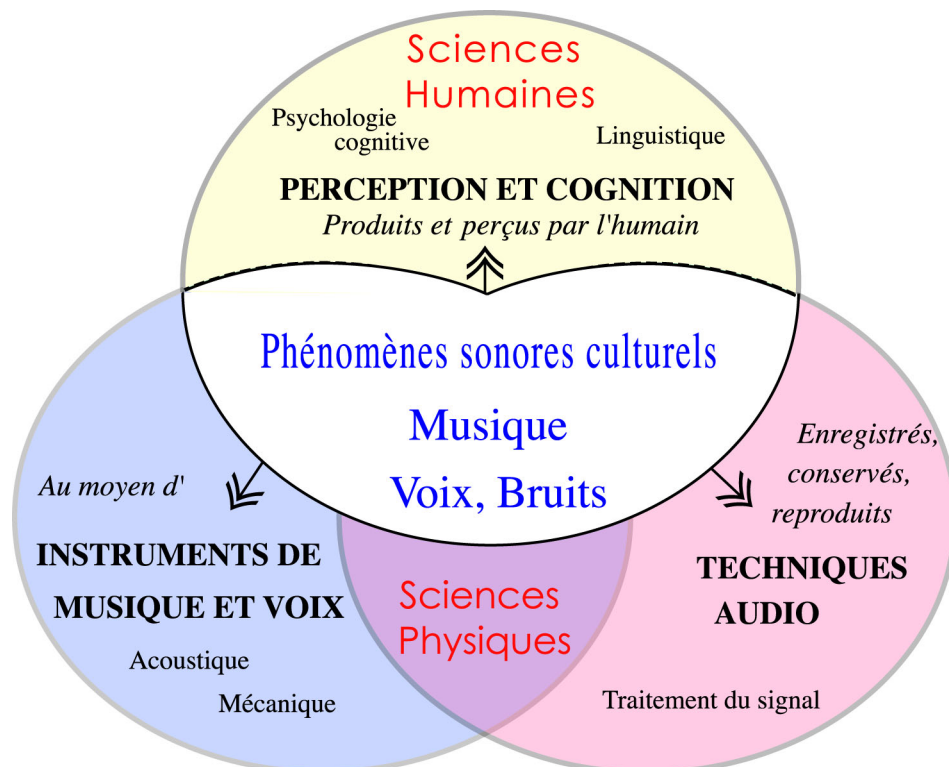
## **4 - LES THEMES DE RECHERCHE**

La réorganisation des recherches du laboratoire a conduit à définir 3 thèmes :

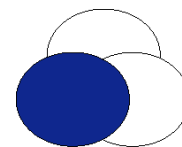
- Thème 1 : instruments de musique et voix
- Thème 2 : perception et cognition

- Thème 3 : techniques audio

Le statut et les interactions de ces trois thèmes sont illustrés par le schéma suivant où les phénomènes sonores culturels (musique, voix, bruits) étudiés au LAM sont au centre. Les deux approches cognitive et physique de ces phénomènes sont respectivement situées au-dessus, et au-dessous. Chacun de ces thèmes se définit en outre par son objet d'étude : les instruments, ou sources sonores primaires, pour le thème *instruments et voix*; l'émergence du sens pour le thème *perception et cognition*; et le son, et ses sources virtuelles, pour le thème *systèmes audio*. Les disciplines scientifiques de cœur de ces thèmes sont aussi indiquées sur le schéma.



## 4.1 Instruments de musique et voix



Ce thème regroupe les études sur le fonctionnement physique des instruments de musique acoustiques. Il s'agit du *métier de base* du LAM, lié à l'histoire du laboratoire au sein de la mécanique à l'UPMC.

Ces dernières années, les études ont porté sur des instruments aussi variés que la clarinette, la voix, les cloches, le piano, les flûtes, l'harmonica et l'orgue. Les approches vont de l'analyse détaillée des mécanismes physiques jusqu'à l'intégration de modèles simplifiés de ces mécanismes dans l'idée d'une synthèse sonore par modèle physique. Bon nombre de directions d'étude sont suggérées par l'observation de l'art du facteur d'instrument ou celle des compétences spécifiques des instrumentistes. Les problématiques scientifiques au cœur des recherches menées sont :

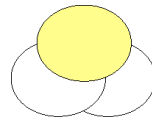
- le *comportement mécanique des structures vibrantes* (mécanismes d'amortissement, rendement acoustique, non-linéarités des tables d'harmonie),
- les *systèmes excitateurs mécaniques* telle la mécanique de la touche de piano,
- les *interactions écoulement / champ acoustique / vibration mécanique* (voix, flûtes, bec de clarinette, anches d'harmonica).

Cette dernière problématique concerne, par ailleurs, l'étude des événements des enceintes acoustiques abordée dans le cadre du troisième thème présenté ci-dessous.

Le thème des instruments de musique reste le thème majeur du laboratoire, là où le plus grand nombre de thèses est soutenu, d'articles publiés. Depuis le dernier rapport d'activité, 3 thèses ont été soutenues : C. Ségoufin sur les écoulements dans les flûtes (bourse DGA) ; N. Henrich sur la source glottique en voix parlée et chantée (bourse MESR) ; et V. Rioux sur l'orgue (co-tutelle avec l'Université Technique Chalmers à Gothembourg en Suède) et 6 articles dans des journaux à comité de lecture ont été publiés, 5 sont soumis ou acceptés. On dénombre une trentaine de communications en congrès.

Les actions de recherche qui ont structuré le thème les quatre dernières années sont liés en particulier à l'activité de modélisation, simulation, et modification de la table d'harmonie d'un piano, à l'analyse physique et la modélisation des écoulements dans les flûtes ainsi que dans les anches libres (harmonica, harmonium), et enfin à l'analyse acoustique et perceptive de la voix. Elles ont fait l'objet de nombreuses collaborations externes, notamment avec les laboratoires de l'UPMC (LMM, LIMSI). Elles ont fait également l'objet d'un B.Q.R de l'Université Paris 6 en 2003, concernant l'optimisation de la facture du piano.

## 4.2 Perception et cognition



Ce thème a émergé à l'initiative de Michèle Castellengo avec une recherche sur la reconnaissance et l'appréciation qualitative de bruits domestiques (thèse de F.Guyot, 1996). Celle-ci montrait que la plupart des travaux antérieurs, étudiant la perception du seul point de vue du signal acoustique et non de celui de l'individu, conduisaient à des résultats pauvres et limités. Il était donc nécessaire de prendre en compte les phénomènes sémantiques.

C'est ainsi qu'une collaboration systématique s'est établie avec le laboratoire Langages, Cognitions, Pratiques et Ergonomie (LCPE, CNRS, Danièle Dubois). Elle a permis de répondre à des appels d'offre du Ministère de l'Environnement, du CNRS (PIR Villes), et enfin des programmes PREDIT, ce qui explique que ces recherches ont concerné l'environnement externe - le bruit dans la ville.

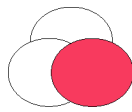
Depuis le dernier rapport d'activité, M. Mzali (CIFRE SNCF dans le cadre du PREDIT) et C. Guastavino (bourse MESR, PREDIT) ont soutenu leur thèse.

Aujourd'hui, le cadre conceptuel est bien en place. Il a permis de développer de nouvelles méthodes expérimentales, que nous appelons "sémio-acoustiques" et qui complètent l'approche psychoacoustique traditionnelle. Nous envisageons maintenant d'appliquer ce cadre

conceptuel aux instruments de musique, à la voix (thèse de Maëva Garnier, bourse MESR) ainsi qu'à l'acoustique des salles et aux problèmes posés par la restauration des documents sources.

Le Laboratoire d'Acoustique Musicale fait figure de pionnier dans cette approche sémioacoustique, qui suscite beaucoup d'intérêt de la part de l'industrie (FranceTelecom, SNCF, PSA) ou des collègues acousticiens (projet HISAC).

### **4.3 Techniques audio**



Ce thème est lié à l'arrivée au LAM de Jean-Marc Fontaine en 1997, mais aussi aux problèmes posés par la perception sonore (thème 2) et la nécessité de reproduire en laboratoire des environnements sonores pertinents. Sa caractéristique est une forte interaction avec des organismes extérieurs : institutionnels comme la Mission de la Recherche et de la Technologie (MRT) du Ministère de la Culture, la Bibliothèque Nationale de France, ou même certains laboratoires de Sciences Humaines et Sociales du CNRS (Musée de l'Homme) ; mais aussi industriels, avec des thèses réalisées au CCETT (J. Daniel, soutenue en 2000) et PSA (S. Jeanjean, soutenance prévue bientôt).

Ce thème est structuré en 2 actions. La première est liée à la prise et restitution du son, et s'est surtout traduite au laboratoire par l'installation d'un système de restitution multi-canal pour les études de la perception sonore par B. Katz et C. Guastavino (thème 2). Cette installation s'est appuyée sur les résultats de la thèse de J. Daniel. Mais la restitution sonore basse-fréquence pose toujours problème, et nous développons actuellement un système révolutionnaire d'événements pour enceintes acoustiques (brevet Morkerken) qui apporte une amélioration notable de la restitution des basses fréquences. Ce brevet est géré par la DRITT de l'UPMC, et les premiers contacts industriels sont noués.

La deuxième action est liée au transfert, stockage et conservation des enregistrements. L'avènement des techniques numériques a fait sauter la barrière entre son et image, et notre activité couvre de ce fait tout le domaine audiovisuel. Grâce au Ministère de la Culture, un matériel conséquent est mis à disposition : ainsi un analyseur de DVD a-t-il été récemment acquis pour le laboratoire, ce qui nous ouvre aujourd'hui un partenariat avec le Laboratoire National d'Essai. Le Maître de Conférence recruté pour le LAM par l'UFR de Mécanique de l'UPMC en 2002, Laurent Daudet, s'implique aujourd'hui dans le développement de cette action.

Ce thème est l'illustration du fait qu'une recherche à caractère appliquée peut donner lieu à des interrogations à caractère fondamental.

## **5 - PERSPECTIVES**

Le champ pluridisciplinaire de recherches du LAM attire des chercheurs issus non seulement d'autres laboratoires de Paris 6, mais aussi de laboratoires d'autres universités, en particulier ceux liés à la linguistique (Paris III). Au cours du prochain contrat quadriennal, il importe de formaliser les liens en train de se tisser.

Le retour sur le campus de Jussieu des laboratoires de mécanique installés à Scott va laisser le LAM dans une situation d'isolement scientifique et administratif sur son site actuel, certes très agréable mais éloigné des autres laboratoires de l'UFR, des bibliothèques et des lieux d'enseignements. Il importe donc que le LAM revienne rapidement sur Jussieu, sans attendre le terme que propose l'établissement public.

Le retour sur le campus de Jussieu prévoit la réalisation d'un centre expérimental. Le LAM est particulièrement intéressé par deux équipements communs : une chambre sourde ; un système de visualisation PIV ; un vibromètre laser. Un chiffrage estimatif du coût de ces équipements est à la disposition des tutelles. D'autre part, les équipements spécifiques du LAM (salle d'écoute assourdie et régie attenante, salle d'écoute claire, studios son, et salles de manipulation) doivent être reconstruits sur le campus. Là aussi, les chiffrages estimatifs sont disponibles.

Ce qui me préoccupe le plus en tant que directeur, ce sont les ressources humaines. En effet, les deux chercheurs CNRS sont rattachés à la section 34 (SHS) du CNRS, et il ne reste plus qu'une seule chargée de recherche. Du côté de l'Université, Benoît Fabre doit soutenir prochainement son habilitation, au moment où l'IST demande, en partenariat avec l'UFR de mécanique et l'appui de l'UFR d'électronique, un poste de professeur dont la recherche doit s'effectuer au LAM. Nous avons donc grand besoin de jeunes enseignants/chercheurs, en priorité avec un profil mécanique pour l'étude des instruments de musique. Ces demandes de recrutement ont été présentées aux derniers entretiens de programmation pluriannuelle des moyens du département SPI en septembre 2002.

En ce qui concerne la composante culturelle, le LAM doit continuer son effort pour mieux articuler recherche fondamentale et développement technologique. L'implication de Laurent Daudet dans cette action va dans ce sens. Mais l'ampleur des demandes du Ministère exige à terme le recrutement d'un ingénieur d'études spécialisé dans le travail de studio et l'archivage sonore. C'est l'une de nos demandes récurrentes, et nous sommes conscients de la difficulté à y répondre. La possibilité de rétribuer du personnel temporaire, offerte par le Ministère de la Culture, est intéressante à cet égard, mais n'est pas satisfaisante à long terme.

## *Présentation du LAM*

En conclusion, le Laboratoire d'Acoustique Musicale est un laboratoire dynamique qui attire les jeunes, comme le prouvent les nombreuses demandes de stage auxquelles nous n'arrivons pas à répondre, et les nombreux candidats de haut niveau au recrutement statutaire CNRS et universitaire. Son approche originale de la perception sonore lui donne aujourd'hui un rayonnement qui dépasse sa sphère d'influence traditionnelle liée à la musique et la culture, pour atteindre l'industrie. Cette nouvelle légitimité lui permet d'envisager l'avenir avec sérénité, mais il lui faut de nouveaux chercheurs pour renforcer son potentiel.

J.D.Polack

Septembre 2003



## Liste du personnel du laboratoire au 1er octobre 2003

<b>Permanents</b>	<b>Autres</b>
<b>UPMC</b>	<b>POST-DOCTORANT</b>
<b>Jean Dominique Polack</b> (PR)	Julien Bensa (CNRS - SPI)
<i>Daniel Ambroise</i> (MdC) en retraite	
<b>Benoît Fabre</b> (MdC)	
<b>Laurent Daudet</b> (MdC)	<b>DOCTORANTS</b>
Jean-Pierre Morkerken (IE - SAIC)	
	<b>Doctorants internes</b>
<b>CNRS</b>	Caroline Cance (Paris III - CIFRE PSA)
<b>Michèle Castellengo</b> (DR Emérite - SPI)	Gaëlle Delepaut (Paris III - CIFRE SNCF)
<b>Danièle Dubois</b> (DR - SHS)	Maëva Garnier (Paris 6 SMAE)
<b>Nathalie Henrich</b> (CR - SHS)	Guillaume Pellerin (Paris 6 SMAE)
Charles Besnainou (IR)	
Catherine Fourcin (TG)	<b>Doctorants externes</b>
Pascal Le Saëc (IE)	Alexis Baskind (Paris 6 SMAE - IRCAM)
Jacques Poitevineau (IE)	Etienne Corteel (Paris 6 - IRCAM)
Philippe Resche-Rigon (TC)	Sébastien Jeanjean (Paris 6 SMAE - CIFRE PSA)
	Benjamin Robin (Paris 6 SMAE - Adème/INRETS)
<b>Ministère de la Culture</b>	Eva Walker (Paris 6 SMAE - CIFRE SNCF)
Jean-Marc Fontaine (IR)	

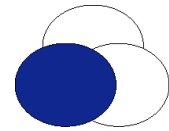
Pascale Cheminée a participé à de nombreuses études sur contrat.

CODE couleur :	<b>rouge</b>	enseignants/chercheurs de rang A
	<b>bleu</b>	enseignants/chercheurs de rang B
	noir	ITA et autres chercheurs
	<i>italiques</i>	en retraite depuis l'été 2003



## **II - Bilan des recherches**





# 1 - INSTRUMENTS DE MUSIQUE ET VOIX

## 1.1 Présentation du thème

Les instruments étudiés sont : l'harmonica, la flûte, la clarinette pour les instruments à vent, le piano, le violon et la guitare pour les instruments à cordes, le xylophone et enfin la voix.

Les recherches peuvent être regroupées, selon leur nature, en plusieurs catégories :

- des études à caractère mécanique, acoustique ou aéroacoustique. Ces études portent sur des éléments d'instruments (bois de lutherie, mécanique de piano, jet ou biseau de flûte...). Plusieurs approches peuvent être identifiées : l'expérimentation, l'application de théories existantes ou encore la simulation numérique. Ces deux derniers points sont le plus souvent développés au travers de collaborations externes.

- le développement de techniques de mesure ou d'analyse spécifique, que ce soit des analyses du signal (mesures de décroissances modales) ou des techniques expérimentales comme la trans-illumination du larynx ou le miroir à retournement temporel (filtre adapté) à la mise en place si délicate en basses fréquences.

- l'étude d'un paramètre donné sur un instrument complet comme la guitare (mesure du rendement par mise sous vide et analyse des décroissances modales) ou la simulation temporelle en vue d'obtenir une synthèse sonore par modèle physique (flûte et harmonica), ou encore l'étude du quotient ouvert dans la voix chantée (estimation in vivo, modélisation de la source glottique et étude de sa perception), ou l'analyse des mécanismes laryngés utilisés dans différentes situations vocales. Il est important de noter que toutes ces études reposent sur l'idée d'un modèle a priori du fonctionnement physique de l'instrument étudié.

- enfin, des études d'innovation technologique appliquée à la facture : contrôle actif du xylophone, application du synthétiseur de son de flûtes à l'étude des flûtes Ouldémé ou encore l'amydalectomie.

La notion de « qualité sonore » des instruments est sous-jacente aux différents travaux réalisés, mais à des niveaux différents. En premier lieu, la « qualité sonore » peut intervenir au titre de la motivation d'une étude : la connaissance des facteurs ou l'écoute experte du son de l'instrument orientant la recherche sur certains paramètres mécaniques. Elle peut aussi être l'objet même de l'étude, notamment dans des projets visant à quantifier et analyser les paramètres signaux ou mécaniques les mieux corrélés à la qualité. Dans ce second cas, une approche rigoureuse du problème repose sur la mise en œuvre experte de l'analyse de la perception, en relation forte avec le thème « perception et cognition ».

Le fonctionnement des instruments de musique est traditionnellement analysé en séparant l'excitation non-linéaire du reste de l'instrument (résonateur et structure de rayonnement le cas échéant) dont le fonctionnement est décrit en approximation linéaire.

La majeure partie des travaux menés peuvent être vus au travers de ce cadre, depuis des travaux portant essentiellement sur la partie linéaire jusqu'à des travaux portant sur l'excitateur seul :

- l'analyse modale de la clarinette (XB) visant à intégrer l'anche elle-même dans la partie linéaire de la description, considérant l'écoulement dans l'ouverture de l'anche ainsi que les forces de contact anche – table comme des conditions aux limites non-linéaires des modes ci-dessus. Cette approche a notamment permis une discussion intéressante des questions d'inharmonicité de l'instrument,

- l'analyse des décroissances modales de sons de piano (XB) ou encore l'étude du rendement de la guitare (XB) à partir des mesures d'admittance 2D dans l'air et sous vide reposent sur une hypothèse de fonctionnement linéaire,

- les études sur la voix (MC, NH) intègrent source glottique (non linéaire) et résonances du conduit vocal (linéaire) dans une description « signal » qui repose sur un modèle source – filtre sans rétroaction,

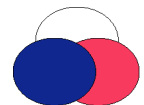
- les études sur l'harmonica (LM) ou sur la flûte (BF) visent essentiellement les éléments sources (non-linéaires) comme le débit sortant de l'ouverture de l'anche de l'harmonica ou les sources aéro-acoustiques liées à l'oscillation du jet dans les flûtes ou en configuration de son de biseau,

- en amont de l'élément non-linéaire qu'est le contact marteau corde dans le piano, l'étude de la mécanique de la touche (XB) de piano permet l'étude d'un système mécanique riche et optimisé par la facture et amène aussi à caractériser l'action du pianiste sur l'instrument.

Certaines études dépassent néanmoins le cadre ci-dessus (excitation non linéaire, résonateur linéaire) pour tenter d'analyser les composantes non linéaires du fonctionnement du résonateur (CB).

## **1.2 Instruments à vent**

### *1.2.1 Flûtes*



B. Fabre, C. Ségoufin, X. Boutillon

#### 1.2.1.1 Introduction

Les travaux portant sur la modélisation des instruments de la famille des flûtes ont été poursuivis. On peut synthétiser les développements pendant la période visée en trois catégories.

1) *Amener la modélisation plus près d'instruments réels.* L'instrument visé dans toute modélisation est une imitation d'instrument réel dans le sens où sa géométrie est idéalisée et les conditions de jeu sont restreintes.

- Nous avons cherché à prendre en compte dans la modélisation des détails de géométrie tels que la forme du canal de formation du jet ou les chanfreins en sortie de canal dans la flûte à bec.

- Nous avons montré que l'accord précis du résonateur de la flûte traversière, s'il modifie notablement le contenu spectral du son rayonné, n'affecte pas le comportement du jet à l'embouchure.

- Nous avons élargi la plage de fonctionnement étudiée aux jets faiblement turbulents tels qu'on les rencontre dans les instruments de musique traditionnelle (voir le travail sur les flûtes Ouldémé par exemple) ou même dans la flûte traversière.

2) *Développer la compréhension de mécanismes physiques au cœur du fonctionnement des instruments.*

- Nous avons étudié l'effet de l'étalement du jet entre sa sortie du canal et le biseau.

- Nous avons mis en évidence l'effet du déclenchement de la turbulence sur le jet, avant qu'il n'atteigne le biseau, sur les sources aéro-acoustiques en configuration de son de biseau.

- Nous avons montré que le terme dominant des sources en configuration restait le terme de force, même lorsque la turbulence se déclenche avant que le jet n'atteigne le biseau.

- Nous avons constaté un effet spectaculaire des chanfreins en sortie de canal sur les sources en configuration de son de biseau.

3) *Affiner les techniques que nous utilisons.*

Si l'expérimental reste la part la plus importante de ce travail, notamment avec la visualisation d'écoulements, nous utilisons la simulation dans deux directions. La première est la simulation directe d'écoulement selon la technique « Reduced Navier-Stokes » développée au LMM par Pierre-Yves Lagrée ainsi que la simulation Boltzman réseau (avec les collègues du Simunef à l'Ensam). La seconde direction est la simulation temporelle des équations simplifiées du modèle. Elle permet d'une part de tester des hypothèses physiques et, d'autre part, de produire du son de synthèse contrôlé par des paramètres de facture et de jeu instrumental.

Les différents axes de recherche sont présentés ci-dessous de manière plus détaillée.

#### 1.2.1.2 Analyse de l'effet de paramètres de facture.

- *Longueur et convergence du canal de la flûte à bec :*

A partir des mesures réalisées sur une copie d'un petit tuyau d'orgue aux dimensions voisines de celles d'une flûte à bec, nous avons pu mettre en évidence l'effet de la longueur du canal de formation du jet, tant en régime stationnaire qu'en régime transitoire. Dans le cas d'un canal court, les transitoires d'attaque laissent une part plus importante aux composantes spectrales qui deviendront en régime stationnaire les harmoniques de rang deux ou trois. De plus, l'écoulement observé dans le cas d'un canal court comporte des structures tourbillonnaires plus développée que dans le cas d'un canal long. En régime stationnaire, ce sont principalement les seuils de bifurcation qui sont affectés par la longueur du canal : démarrage de l'oscillation, passage du premier au second régime. Le passage du premier au second régime d'oscillation de l'instrument est marqué par un hystérésis qui est nettement plus faible dans le cas d'un canal court.

Dans la modélisation, on considère que la longueur du canal de formation du jet influe d'une part sur le terme d'inertie correspondant à la masse d'air dans le canal, d'autre part sur le profil de vitesse du jet. Un premier modèle a été développé, qui suppose un profil de Bickley en sortie d'un canal long et un profil de Nolle en sortie d'un canal court. Les résultats expérimentaux ainsi que ce premier modèle ont fait l'objet d'une publication dans *Acustica / Acta Acustica*.

L'instabilité du jet est liée à son profil de vitesse, aussi il est apparu intéressant d'estimer plus précisément ces profils. Pour cela, nous avons utilisé la simulation d'écoulement, selon la méthode Reduced Navier-Stokes développée par Pierre-Yves Lagrée au LMM. La simulation numérique permet notamment de prendre en compte des profils de canal non droit comme on les rencontre dans les flûtes à bec (voir la figure ci-dessous).

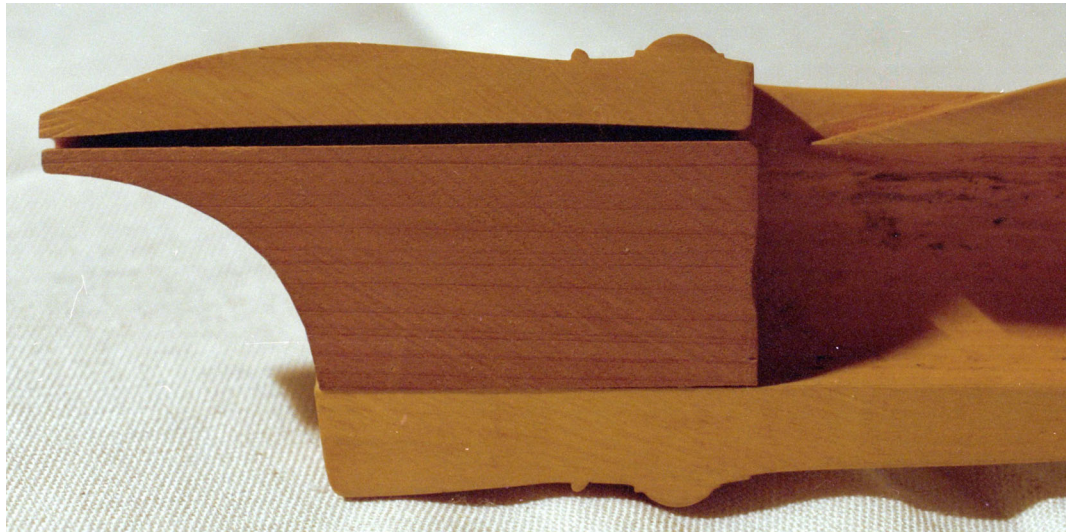


Fig 1 - coupe longitudinale du bec d'une flûte à bec, faisant apparaître la forme convergente du canal de formation du jet ainsi que les chanfreins en sortie du canal.

Les profils de vitesse de jet ont ainsi pu être calculés pour une convergence parabolique. La détermination, à partir des profils calculés de l'instabilité spatiale du jet (modèle d'instabilité linéaire (Rayleigh)) est en cours. Les mesures de fréquences d'oscillation en son de biseau confirment que la vitesse de propagation des perturbations sur le jet est affectée par la longueur du canal, conformément aux résultats de l'analyse linéaire d'instabilité spatiale : les fréquences adimensionnées d'oscillation augmentent d'un facteur 1.7 à 2 (voir figure).

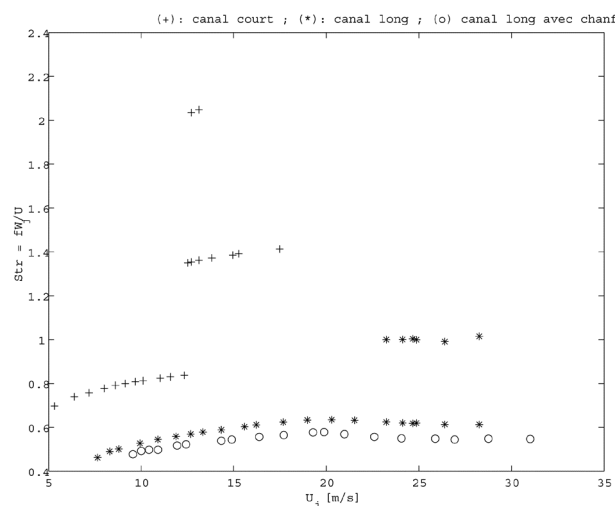


Fig 2 - Effet de la longueur du canal de formation de l'écoulement sur la fréquence adimensionnée d'oscillation en son de biseau.

- Chanfreins / arrondis en sortie du canal :



Les mesures effectuées sur le même petit tuyau d'orgue ont montré l'effet de stabilisation de l'oscillation que les chanfreins en fin de canal apportent. Ceci semblerait lié à une augmentation de l'hystérésis entre régimes d'oscillation. Afin de mieux comprendre l'effet de la géométrie en sortie de canal, nous avons mis en place une expérience dans une configuration de son de biseau. Les résultats obtenus concernant les sources acoustiques sont présentés ci-dessous.

Ce point reste, à l'heure actuelle, difficile à interpréter.

### 1.2.1.3 Etude des sources aéroacoustiques dans les flûtes :

- effet de l'harmonicité du résonateur

La flûte traversière se distingue d'autres instruments de la famille des flûtes par un excellent accord des modes de résonance du tuyau. Cet accord peut être fortement compromis en déplaçant le bouchon situé à proximité du trou d'embouchure. Nous avons utilisé la visualisation d'écoulement pour évaluer la différence de comportement du jet entre deux situations contrastées de l'accord (l'accord « optimal » et un désaccord important). Il est apparu que le comportement du jet n'est pas affecté de manière mesurable, ce qui est confirmé par le fait que l'enrichissement spectral du son dans la configuration accordée est directement lié à la réponse passive du tuyau.

- effet de la géométrie de sortie du canal (chanfreins/arrondi) en son de biseau

La facture de la flûte à bec fait traditionnellement appel à des chanfreins en sortie de canal. Après avoir observé l'effet des chanfreins sur un instrument, nous avons étudié leur effet en configuration de son de biseau. La présence de chanfreins affecte l'amplitude de la source au biseau (le terme principal est le terme de force transversal à la direction de l'écoulement au repos) : une chute d'un facteur 2 est observée lorsqu'on utilise des chanfreins à 45° (voir figure). Des sorties arrondies ont un effet encore plus spectaculaire : le système d'oscille plus. L'hypothèse que nous avons retenue est que l'arrondi en sortie de canal fait chuter l'efficacité du système au point d'interdire l'oscillation.

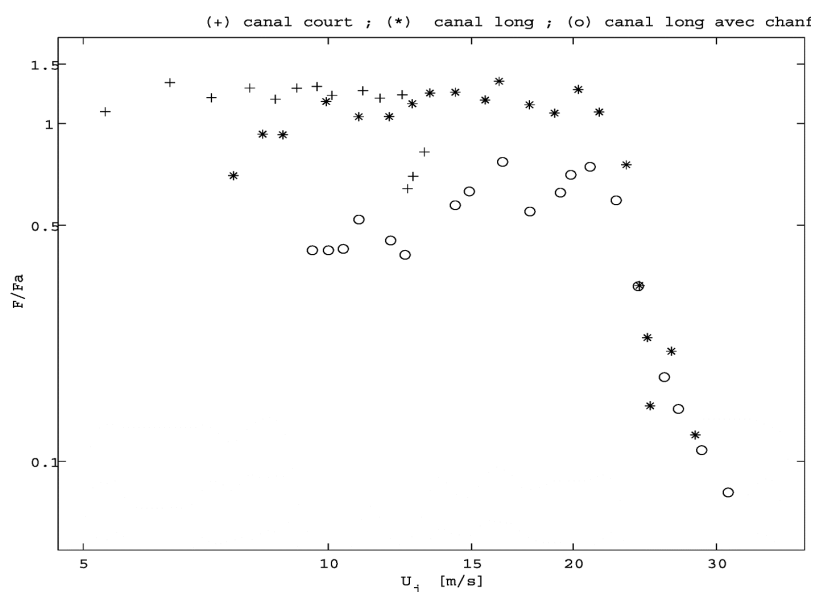


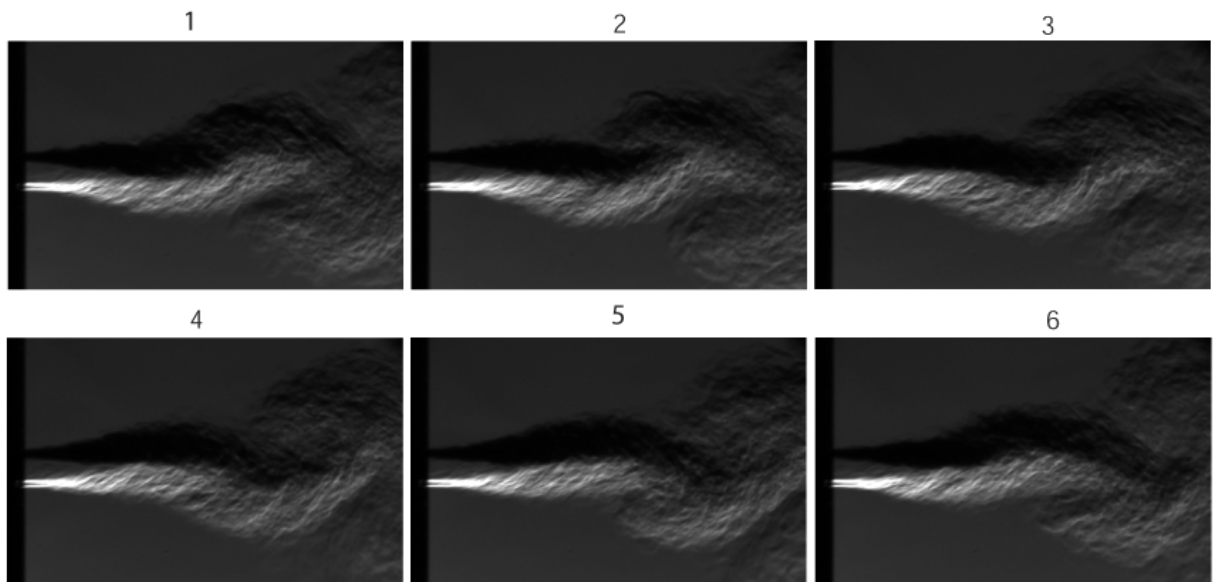
Fig 3 - Force adimensionnée au biseau en fonction de la vitesse du jet, pour trois configurations du canal de formation du jet : canal court, canal long avec sortie droite (90°), canal long avec chanfreins à 45°.

La mesure des sources a montré une chute très nette de l'efficacité des sources à partir d'une certaine vitesse de l'écoulement. La visualisation de l'écoulement a permis de montrer que le déclenchement de la turbulence sur le jet avant qu'il n'atteigne le biseau était responsable de cette chute.

Ces divers résultats ont fait l'objet d'une publication à *Acustica / Acta Acustica*.

#### 1.2.1.4 Jets faiblement turbulents soumis à une perturbation acoustique

De nombreux instruments de la famille des flûtes utilisent un jet faiblement turbulent, notamment les flûtes traditionnelles de la tribu des Ouldémé (Cameroun) pour l'étude desquelles nous avons travaillé avec nos collègues de l'Ircam. Les mesures effectuées sur la flûte traversière indiquent des valeurs du nombre de Reynolds qui peuvent atteindre 10000. Le comportement de tels jets soumis à un champ acoustique transversal est assez mal connu. Nous avons entrepris une étude expérimentale afin de caractériser le comportement instable du jet pour des valeurs de Reynolds allant jusqu'à 6000. Ces mesures ont permis de valider et de paramétrer le modèle proposé par Bechert.



*Fig. 4 - Six phases de l'oscillation d'un jet faiblement turbulent perturbé par un champ acoustique transversal.  $Re=3000$ ,  $Str=fh/U=0.12$ .*

#### 1.2.1.5 Simulation temporelle pour la synthèse par modèle physique :

Nous avons développé, pour des applications à caractère recherche plutôt que les applications musicales visées dans le passé, un code de simulation temporelle des équations simplifiées du modèle de flûte. L'accent est porté sur la précision des éléments du modèle et non sur le temps de calcul, dans l'idée de pouvoir confronter les résultats obtenus aux résultats expérimentaux. Le développement de ce code a permis de proposer des filtres nouveaux pour la simulation des effets visco-thermiques lors de la propagation des ondes acoustiques dans le tuyau. En effet, la dépendance en racine carrée de la fréquence de l'effet physique est difficile à implémenter sous forme d'un filtre numérique. La réponse du filtre réalisé, comparé à la réponse théorique et celle des filtres traditionnellement utilisés est présentée dans la figure qui suit. De même, nous avons développé un filtre nouveau pour

modéliser la réflexion des ondes acoustiques avec rayonnement sur une extrémité ouverte du tuyau.

Enfin, ce code a permis de montrer que la modification de la réponse en fréquence liée à l'instabilité du jet, pour deux profils de vitesse différents (Bickley, Nolle), modifiait l'hystérésis entre premier et second régime d'oscillation, comme observé expérimentalement (voir plus haut).

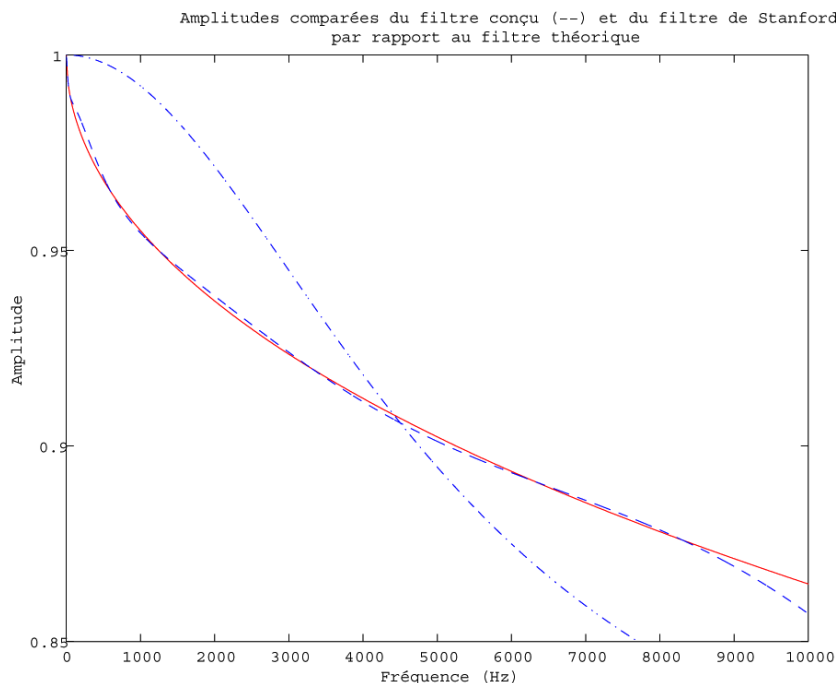
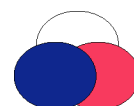


Fig. 5 - Filtre modélisant les pertes par effet visco-thermiques en propagation : réponse en fréquence comparée du filtre LAM (- - -), de la réponse théorique (trait plein rouge) et du filtre traditionnellement utilisé (-.-.)

## 1.2.2 Harmonica



L.Millot, P. Le Saec

Les travaux sur l'harmonica font suite à la thèse de Laurent Millot, soutenue en 1999 et consacrée au fonctionnement des anches de l'harmonica. Ces travaux se sont développés dans deux directions :

### 1.2.2.1 Le développement du modèle du canal de l'harmonica à deux anches couplées

Dans l'harmonica diatonique, les deux anches interagissent et interagissent aussi avec la cavité buccale. Pour améliorer la prédiction du modèle obtenu par Laurent Millot dans sa thèse, il faut tenir compte de la variation temporelle du conduit vocal. En effet, nous nous sommes aperçu, en demandant aux musiciens de décrire leur technique de jeu, que ces derniers modifiaient constamment le placement de la langue et du larynx. C'est donc un modèle non linéaire du conduit vocal que nous avons obtenu.

D'autre part, quoique le mouvement des anches soit effectivement sinusoïdal, comme nous l'avons constaté expérimentalement, il faut cependant tenir compte de leur rotation transversale pour expliquer l'absence de discontinuité du flux d'air constatée expérimentalement au moment de la fermeture de l'anche. Les discontinuités de section au

passage des anches créent aussi des jets libres dont il est essentiel de tenir compte pour obtenir un modèle de fonctionnement qui corresponde aux observations.

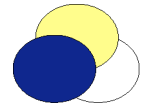
### 1.2.2.2 La simulation temporelle pour la synthèse par modèle physique

Le modèle précédent est cependant trop complexe pour obtenir la simulation en temps réel du fonctionnement de l'harmonica diatonique. Nous l'avons donc simplifié pour approcher le temps réel. Il devient alors possible de reproduire le jeu chromatique de l'instrument, avec ses notes "bend" et ses "overblown". La simulation tient aussi évidemment compte des variations temporelles du conduit vocal. La mise en oeuvre du programme de simulation a fait l'objet d'un stage effectué par Pascal Le Saec dans le cadre de sa formation permanente au CNAM (valeur C).

Laurent Millot a quitté le laboratoire en décembre 2002. Il est actuellement chargé de cours à l'Ecole Louis Lumière et au CSNMDP.

## 1.2.3 *Orgue*

M. Castellengo, coll.B.Fabre



### 1.2.3.1 Transitoire d'attaque des tuyaux à bouche

Les sons de bouche jouent un rôle perceptif important dans la qualité sonore des instruments à embouchure de flûte, surtout lorsqu'il s'agit d'instruments dont les caractéristiques géométriques de l'embouchure sont fixées à la construction, comme c'est le cas pour la flûte à bec et le tuyau d'orgue. En effet, très sensible aux rapides variations de la pression initiale, les sons de bouche participent de la netteté et de la qualité du transitoire d'attaque de ces instruments et contribuent, par leur variabilité et leur fugacité, à donner un intérêt musical évident au jeu d'instruments qui sont par ailleurs limités du point de vue de la sonorité. A la flûte à bec, le musicien contrôle la durée et le contenu spectral du transitoire en utilisant différents coups de langue. A l'orgue, le transitoire n'est pas aussi précisément contrôlable en raison des oscillations de la pression de l'air dans la gravure consécutives à la fermeture de la soupape, ou dues au jeu de tuyaux collatéraux. Mais la présence des sons de bouche confère une variabilité intéressante aux jeux d'orgue comme en témoignent les harmonisations de style classique.

La complexité des phénomènes mis en jeu, et surtout le fait qu'ils sont très brefs et extrêmement variables en rendent l'étude difficile, et le plus souvent ils sont ignorés. A l'aide d'analyses spectro-temporelles, et grâce à plusieurs expériences conduites tant sur des bouches isolées que sur les tuyaux complets, nous avons, au fil des années, montré l'importance du rôle des sons de bouche dans la constitution du transitoire d'attaque.

Les principaux résultats, publiés en 1999 sont les suivants :

---> Les sons de biseau, produits par le système excitateur déconnecté du tuyau ont un spectre complexe dont le contenu varie directement avec celle de la vitesse de sortie de l'air. Plusieurs régimes d'oscillation peuvent se produire, expliquant les sauts (ascendant ou descendant) de fréquence que l'on peut observer.

--- > Dans la partie initiale du transitoire d'un instrument complet, avant l'établissement de l'onde interne contrôlée par le tuyau, les sons de bouche qui apparaissent se stabilisent, au cours de la montée de la pression, sur les modes propres inharmoniques du tuyau.

--> Cette constatation peut être clairement établie en comparant successivement, lors d'une montée en pression identique, d'une part les sons produits par le système jet d'air-biseau de la bouche et d'autre part ceux du transitoire de l'instrument complet, sur une analyse de type sonographe.

--> Les sons de bouche ne disparaissent pas instantanément avec l'apparition du son fondamental du tuyau. On observe des phénomènes complexes (sons additionnels et différentiels) résultant de la combinaison non linéaire de sons de bouches inharmoniques avec le son fondamental du tuyau d'orgue. Ces phénomènes, habituellement brefs, peuvent être stabilisés volontairement avec une finalité esthétique particulière. On trouve dans la facture d'orgue italienne du XIX<sup>ème</sup> siècle un registre (Viola 4<sup>1</sup>) dont le son exceptionnel est le produit de l'entretien simultané d'un régime de son de biseau excitant un mode propre inharmonique du tuyau (N° 6 ou 7), et du régime fondamental habituel. Le résultat sonore, d'une grande complexité sonore, trouve ainsi explication. #

Pour une conférence invitée à l'ICA de Rome nous avons effectué des mesures comparées de l'intensité du son de biseau, du son de bouche et du son du tuyau pour la même fréquence de fonctionnement. Ces mesures mettent en évidence trois comportements différents. Les sons de biseau et les sons de bouche se produisent pour de très faibles vitesses du jet. Ils produisent donc des sons de faible intensité. Mais si l'on rapporte l'intensité rayonnée à la vitesse du jet à la lumière, on constate une amplitude d'oscillation deux fois plus grande du son de bouche par rapport au son normal du tuyau. En comparant le son de bouche au son de biseau, le rapport est de l'ordre de 100.

Nous concluons avec que le comportement du tuyau en son de bouche (pialement des tuyaux d'orgue, whistle tone de la flûte traversière) fait appel à des mécanismes de saturation différents de ceux oeuvrant dans le régime stable (son de tuyau). Compte tenu de leur importance perceptive, les sons de bouche devraient être pris en compte dans les modèles de fonctionnement des instruments à embouchure de flûte.

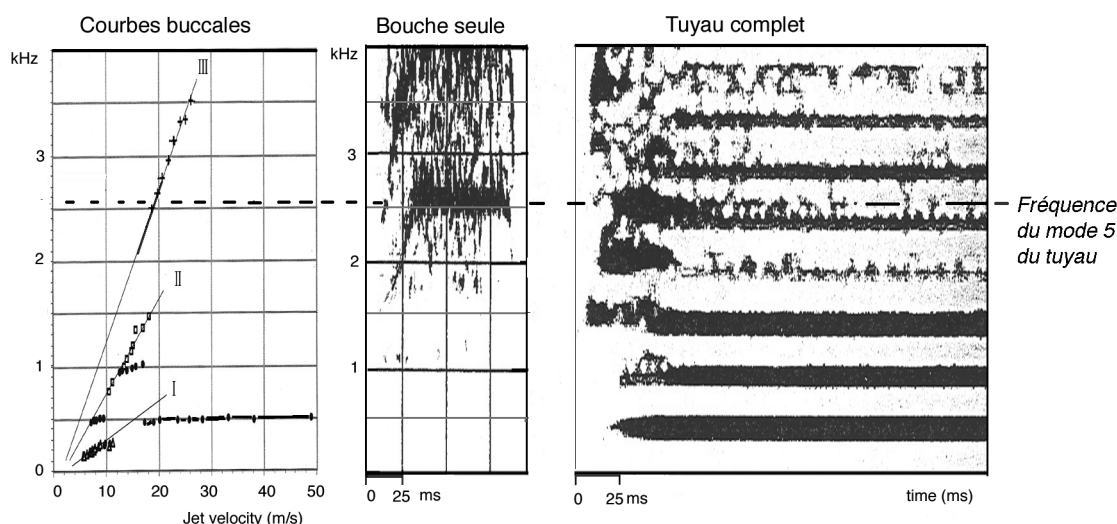


Fig. 6 - Courbes buccales, son de biseau et son du tuyau complet. Les composantes variables visibles pendant le transitoire du tuyau complet sont principalement dues aux fréquences de la troisième courbe buccale qui "accrochent" successivement les fréquences de résonances des modes propres 3,4 et 5 du tuyau. La stabilisation sur le mode 5 correspond à la pression moyenne de fonctionnement du régime normal du tuyau. C'est également la fréquence principale du son de bouche obtenu lorsque les résonances du tuyau sont neutralisées par un absorbant.

### 1.2.3.2 Etude comparative d'un orgue, avant et après restauration

M. Castellengo, C. Besnainou, J.Y. Bernhardt, J.D. Polack

#### *Généralités*

Nous avons été sollicités à diverses reprises pour faire un relevé acoustique “témoin” de l'état d'un orgue historique avant sa restauration, puis après sa remise en harmonie.

L'orgue pose des problèmes spécifiques. D'une part cet instrument possède plusieurs milliers de tuyaux et de nombreuses possibilités de combinaisons entre les divers jeux. D'autre part il est de grandes dimensions, et placé dans un lieu – généralement une église – dont les caractéristiques acoustiques sont extrêmement complexes. Au fil des missions précédentes<sup>1</sup> nous avons mis au point un protocole d'enregistrement spécifique.

#### *Protocole d'enregistrement*

Tout d'abord la technique d'enregistrement doit être parfaitement reproductible, permettant de s'affranchir des variabilités du champ acoustique afin d'être en mesure de comparer le son de l'instrument à plusieurs années d'intervalle. L'idée proposée par Ch. Besnainou, consiste à fixer les micros sur une structure triangulaire suspendue à la voûte et dont la base est fixée aux murs Nord, Ouest et Sud de l'édifice. Les câbles, coupés à longueur la première fois, sont conservés et réutilisés lors d'une nouvelle installation. L'enregistrement proprement dit est réalisé en stéréo, à une distance de l'instrument telle que l'on réalise un bon compromis entre la netteté des articulations et la fusion des sources issues des différents sommiers.

Le deuxième problème à résoudre est celui de la définition du programme d'enregistrement. Celui-ci doit répondre à deux objectifs : offrir de la matière sonore pour l'analyse acoustique, mais aussi et surtout, permettre des écoutes, des comparaisons auditives. En effet, la notion de "qualité acoustique" ne peut se réduire à quelques indices spectraux et, aujourd'hui encore, seul l'auditeur humain est capable d'apprécier globalement les caractéristiques perceptives d'un son.

Le programme suivant, qui a été défini pour la première mission (1986) s'est révélé bien adapté. Il comprend :

- des gammes chromatiques en jeu détaché, sur toute la tessiture, jeu par jeu, puis sur des associations de jeux courantes (fonds, plein jeux, jeux de tierces, grands-jeux), et en combinant les claviers. Ces gammes chromatiques sont jouées selon deux tempi : 1 note par seconde et 4 notes par seconde.

- des gammes diatoniques en jeu détaché, dans le médium du clavier (DO<sub>25</sub> à Sol<sub>44</sub>), sur les jeux isolés et les associations de jeux, claviers séparés et claviers accouplés.

- des accords enchaînés successivement dans le grave puis dans l'aigu de la tessiture, sur les principales associations de jeux. Ces accords donnent une bonne indication sur l'équilibre général entre les basses et les aigus. Par ailleurs, ils renseignent sur la qualité de la fourniture d'air de la soufflerie.

- des pièces musicales jouées par l'organiste. Nous avons également mis au point un programme musical de base, joué par nous, qui a été appliqué à tous les instruments. Ce

---

<sup>1</sup> St Maximin en Provence; St Sulpice de Paris; orgues italiens de la vallée de la Roya.

programme, reproduit fidèlement par la même personne depuis 1986, sur différents orgues, permet de comparer la sonorité des instruments, indépendamment du contenu musical, et indépendamment de l'interprète.

L'enregistrement d'un instrument se fait en deux ou trois nuits, selon les conditions météorologiques et selon l'importance de l'instrument.

*Missions effectuées entre 1999 et 2003*

Poitiers, Cathédrale Saint-Pierre : Orgue de F.H. Cliquot (1790) ; 4 claviers; 44 jeux; 3023 tuyaux. Nov. 1988 - Juin 1989 et Nov. 2000 après restauration par la maison Boisseau.

Ebersmunster, Abbatale St Maurice : Orgue A. Silberman (1731); 3 claviers; 29 jeux; Nov. 1997 et Nov. 1999 après restauration.

L'exploitation des enregistrements nécessite plusieurs mois de travail. Il comprend le dépouillement et le montage des bandes enregistrées. La réalisation d'analyses acoustiques systématiques (sonagrammes de gammes chromatiques; spectres, IDS), de tests auditifs, et des analyses particulières mettant en évidence certaines caractéristiques identifiées au cours des tests.

L'orgue d'Ebersmunster a donné lieu à un travail complet de dépouillement des bandes sonores et de montage pour écoutes.

Le tout est consigné dans un rapport écrit accompagné de 7 Disques Compacts



*Fig 7 - Orgues d'Ebersmunster*

Les principaux résultats ont été présentés oralement aux membres de la Commission Supérieure des Monuments Historiques, 5ème section, au Ministère de la Culture. L'écoute des extraits comparés de l'instrument avant et après restauration, à deux années de distance a impressionné les organistes et les techniciens conseils, qui n'avaient jamais pu entendre, objectivement, les changements, parfois subtils, induits par la réharmonisation de l'instrument..

Une nouvelle mission nous est demandée pour l'orgue "Callinet-Riepp" de la Collégiale de Dole (Doubs)

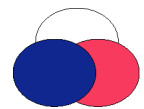
#### *1.2.4 Clarinette*

X. Boutillon

Analyse modale de la clarinette et de l'anche : la partie linéaire concernée par l'analyse modale est étendue jusqu'à l'anche. Les non-linéarités liées à l'écoulement et aux forces de contact table / anche sont modélisées comme condition aux limites. Applications aux calculs d'harmonicité de la partie linéaire.

### **1.3 Instruments à cordes**

#### *1.3.1 Guitare*



##### 1.3.1.1 Étude du microphone de guitare électrique

Ch. Besnainou, E. Sérié et Ch. Combé, stages du Mastère de Physique

Cette étude a eu pour but, à l'origine, de familiariser des étudiants de maîtrise avec la recherche en leur proposant une étude expérimentale et une modélisation du fonctionnement du microphone de guitare électrique. Sous l'impulsion de ces étudiants nous avons choisi, pour faire nos tests, des micros du commerce réputés pour leurs "qualités sonores". Qualité sonore est volontairement mis entre guillemets parce que nous pensions, à tort, que tous ces transducteurs se valaient et n'apportaient rien au "son" ! Le résultat le plus tangible de cette étude a fait ressortir qu'il n'en était rien : ces types de microphones se distinguent par des non-linéarités plus ou moins marquées qui semblent être un élément important dans l'appréciation du rendu sonore par les musiciens. Et pour cause, ces non-linéarités ont pour effet d'enrichir le spectre de la corde en fonction de l'amplitude de ses mouvements, qui plus est cet enrichissement est harmonique et il évolue au cours de l'extinction du son, variations qui participent à l'expressivité.

##### 1.3.1.2 Sonorisation de la guitare classique

Ch. Besnainou, M. Faure -PFE CNSMDP



Les musiciens réclament souvent la sonorisation de leur instrument surtout lorsque celui-ci a par nature une voix discrète et qu'il est associé à des voix plus fortes. La sonorisation de la guitare classique est devenue courante mais sa réalisation tient du bricolage et reste insatisfaisante. Nous nous sommes donné comme objectif de définir les paramètres des corrections spectrales associés aux corrections dynamiques et temporelles lors de la sonorisation d'une guitare pour que le son rendu à distance (15 mètres) reste perceptivement le même que celui de l'instrument écouté en champ proche (1,5 mètres).

En champ proche, les sons de la guitare peuvent être caractérisés par un pic d'intensité lors de l'attaque suivi d'une décroissance du son jusqu'au seuil d'audibilité, le temps entre l'attaque et la disparition du son au seuil d'audibilité est qualifié de "sustain" (durée des sons). Lors de l'écoute en champ lointain, le pic d'intensité à l'attaque est considérablement réduit, mais le seuil d'audibilité restant le même, il en résulte pour l'auditeur que les sons durent moins longtemps ; de plus le spectre des sons est modifié du fait des différences d'atténuations entre les composantes graves et aiguës avec la distance. Dans les systèmes existants on utilise des microphones de contact qui délivrent un signal de sortie qui est un mélange du son et de l'accélération au point de collage, un filtrage est donc nécessaire pour restituer un équilibre tonal ; outre que ces systèmes coûtent cher, ils ne donnent pas satisfaction : les corrections sont approximatives.

Nous avons réalisé un système, très simple et peu coûteux fonctionnant entre 200 et 5000 Hz, qui consiste en un capteur de déplacement (en PVDF) collé sur la table d'harmonie suivi d'un amplificateur qui délivre la dérivée du signal. Ainsi est restitué un signal de vitesse qui est homogène à une vitesse acoustique, puis ce signal est convolué avec la fonction de transfert simulant le son rayonné par la guitare entre une prise de son à 1,5 m et une autre à 15 m. Le test perceptif informel est convaincant.

#### 1.3.1.3 Décroissance modale et rendement acoustique de la guitare

X. Boutillon, B. David ENST

La mesure du rendement de la guitare par comparaison du comportement dans le vide et dans l'air a été poursuivie. Plusieurs directions complémentaires ont été suivies :

- d'une part le développement d'un programme convivial d'analyse de décroissances de sinusoïdes amorties utilisant la méthode Matrix-Pencil. Les méthodes paramétriques d'analyse du signal telle la méthode Matrix-Pencil permettent d'atteindre une précision très élevée dans l'estimation des fréquences et temps de décroissances de sinusoïdes amorties. Cependant, leur mise en oeuvre nécessite une appropriation des méthodes par l'utilisateur, qui en limite l'utilisation aux spécialistes du traitement de signal. Le programme Matlab convivial développé permet de simplifier la mise en oeuvre de ces méthodes et donc de les rendre accessibles à des non-spécialistes.

- d'autre part la mise au point d'une méthode de mesure de l'admittance 2D au chevalet de la guitare,

- enfin l'évaluation du rendement acoustique de l'instrument par comparaison des mesures d'amittance effectuées dans le vide et dans l'air. Cette direction de recherche était développée au LAM par Xavier Boutillon avant sa mutation au LMS (Ecole Polytechnique).

### 1.3.2 Violon



#### 1.3.2.1 Réflexion sur le schéma traditionnel du fonctionnement des instruments à cordes

Il s'agit ici de tester l'hypothèse d'un lien possible entre le comportement non-linéaire du corps sonore d'un instrument à cordes avec certains descripteurs perceptifs de la qualité sonore. L'étude du microphone de guitare électrique (voir ci-dessus) a déclenché une réflexion sur le rôle que pourrait jouer certaines non-linéarités dans le comportement vibratoire du corps sonore d'un instrument à cordes dans quête d'un descripteur mécanique de la qualité sonore. Nous avons alors fait un rapprochement avec notre expérience de quinze années de lutherie composite. Notre savoir-faire "fibres de carbone" butait manifestement sur une limite : les instrument "composites" que nous fabriquions n'arrivaient pas à atteindre les qualités acoustiques des instruments en bois. Bien que des musiciens les eussent choisis pour le concert et même lors d'enregistrements pour leurs qualités de "puissance", de "clarté" et "d'intelligibilité", ces musiciens les trouvent à la longue "ennuyeux" ! Ils leur reprochent un son "plat", toujours le même quelque soit la nuance de jeu piano/forte, en un mot sans expressivité.

Jusqu'à présent toutes les études sur la qualité acoustique des instruments de musique ne se sont préoccupées que d'analyse spectrale, à notre connaissance aucune n'a encore abordé le sujet du point de vue dynamique, c'est-à-dire temporel ; or quand les musiciens évoquent la "vie des sons" ils font référence à ce qui change au cours de la durée des sons. C'est pourquoi l'hypothèse de la présence de petites non-linéarités à l'œuvre dans le corps sonore des instruments à cordes nous a semblé intéressante parce que la dynamique, donc le temps est ainsi réintroduite dans l'étude de la qualité sonore.

Nous avons donc mis en cause le matériau composite carbone/résine qui imite les propriétés mécaniques des bois –masse volumique, modules d'élasticités L & R, signature d'amortissement en fonction de la fréquence– sans toutefois prendre en compte la viscoélasticité et encore moins la viscoplasticité. Si la viscoélasticité joue un rôle, elle peut parfaitement être à l'origine de comportements hystérétiques qui peuvent avoir des effets non-linéaires sur les vibrations et ceci même dans le cadre de la viscoélasticité linéaire. De plus dans le cadre de cette hypothèse, on peut aussi imaginer des effets non-linéaires induits par la géométrie, donc par l'architecture des voûtes de tables d'harmonie.

Nous avons donc cherché à tester qualitativement ces hypothèses de non-linéarités en construisant deux luths toutes choses égales par ailleurs : même sandwich composite, même barrage (raidisseurs) sauf que pour l'un nous avons introduit dans le sandwich une couche viscoélastique, tandis que pour l'autre nous avons imposés une courbure à certains des éléments du barrage au lieu de les coller rectilignes sur la surface de collage comme cela se fait habituellement ; la courbure a pour effet de mettre la barre en situation de flambage, ce qui est propice à des comportements vibratoires non-linéaires. Les résultats ont été au-delà de nos espérances : pour la première fois les musiciens reconnaissaient de l'expressivité à nos instruments.

1.3.2.2 Mise en évidence de non-linéarités dans un violon par focalisation acoustique -  
Miroir à retournement temporel

Ch. Besnainou, V. Gibiat -Prof. Université P. Sabatier- Toulouse, M. Guillaume -ENS Cachan, F. Durant -ENS Ulm, S. Ménard -DEA ATIAM, MC. Leveau -PFE SupELEC, P. Leveau -PFE SupELEC

Nous avons donc décidé de tester l'hypothèse de la non-linéarité en faisant directement des mesures sur un violon de soliste et de comparer ces mesures avec celles issues d'un instrument médiocre. Le principe de la mesure est très simple : l'instrument est irradié par un champ acoustique d'intensité croissante et l'on mesure ses réponses au lieu même de transmission des vibrations des cordes par des capteurs piézoélectriques placés entre le chevalet et les cordes. Si l'on observe un enrichissement du spectre en fonction de l'intensité d'excitation cela est un bon indice de la présence de non-linéarités.



Malgré le fait que le champ acoustique d'irradiation n'était pas "propre" (à fort niveau les hauts parleurs diffusaient leurs propres non-linéarités) nous avons pu montrer, après un traitement mathématique spécifique des signaux enregistrés, la présence de non-linéarités sur l'excellent violon et l'absence d'indices de non-linéarités sur l'autre. Positive, cette expérience reste néanmoins qualitative et à besoin d'être affinée et plus si l'on souhaite caractériser les non-linéarités.

Nous nous sommes donc tourné vers les techniques des miroirs à retournement temporel pour pouvoir bénéficier de focalisations intenses sans les artéfacts dus aux non-linéarités des haut-parleurs. En outre, les MRT peuvent être de bons outils pour la localisation spatiale de sources acoustiques, ce qui permettrait de tester une autre hypothèse, due à Gabriel Weinreich, à savoir : la directionnalité des sources émissives sur un instrument comme le violon participerait à la perception de la qualité sonore.

*fig 8 - mesure du comportement non-linéaire du résonateur d'un violon*

Nous avons utilisé un ensemble de 12 hauts parleurs placés sur les sommets d'un dodécaèdre, déjà existant au LAM pour la spatialisation sonore, et nous avons conçu les interfaces de synchronisation, de diffusion, de réception et de traitement de signaux. Le système est opérationnel entre 200 et 5000 Hz depuis peu, il permet des focalisations d'excellentes qualités, c'est-à-dire que le signal refocalisé est identique au signal émis.

L'intensité acoustique mesurée au centre de la tache focale est de 120 dB avec un taux de distorsion harmonique très faible qui se situe -50 dB plus bas, l'amplification due à la focalisation est de +11 dB. La localisation des sources se fait à  $\pm 1$  cm. Les algorithmes de détermination de la directivité sont en cours d'évaluation.

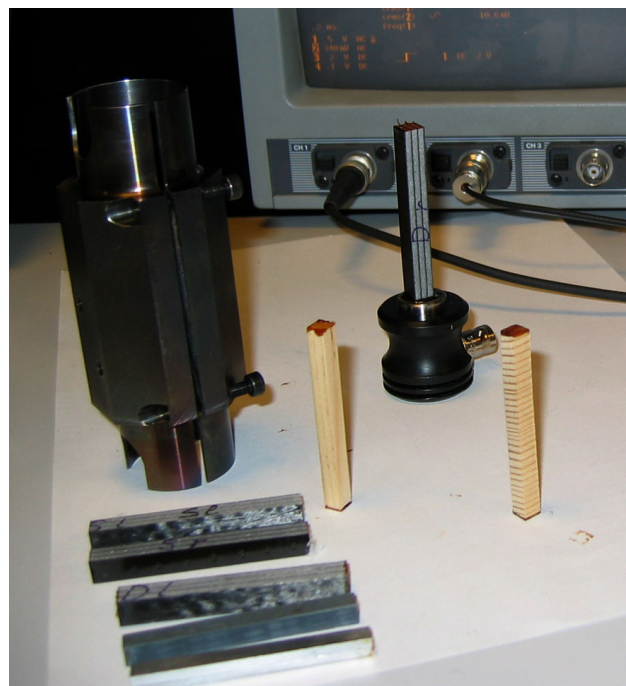
Les premières mesures réalisées ont permis de mettre en évidence les non-linéarités, bien connues, du comportement vibratoire d'une cymbale lorsque le niveau d'excitation augmente. Des campagnes de mesures systématiques sur des instruments à cordes, diversement appréciés par les musiciens, sont programmées.

### 1.3.2.3 Rôle de la viscoélasticité

#### *-Mesure de la viscoélasticité du bois*

M. François - LMT Cachan, Ch. Besnainou, P. Djoharian -Prof. agr.- Grenoble

L'introduction d'une couche viscoélastique dans le sandwich composite a été faite au hasard, nous avons simplement eu de la chance quant au résultat (on peut dire aussi que notre composite sans viscoélasticité a été aussi, à rebours, une chance qui a eu pour effet de nous pousser à sortir de nos retranchements). La mesure précise de ce paramètre de viscoélasticité est indispensable pour pouvoir mieux caractériser le bois.

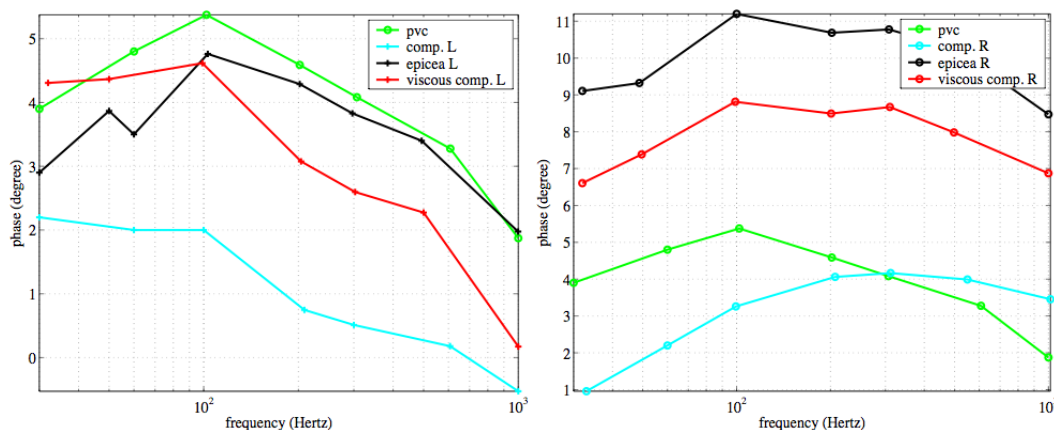


*fig. 9 - dispositif de mesure de la viscoélasticité.*

Une collaboration avec Marc François du LMT-Cachan s'est donc engagée. Le principe de la mesure repose sur la mesure du décalage temporel entre la sollicitation et le déplacement d'une éprouvette équipée d'actionneurs et de capteurs piézoélectriques en fonction de la

fréquence. Les premières mesures exploratoires ont permis de définir la conception d'un système dédié qui est en cours de fabrication.

Par ailleurs, une collaboration s'est aussi engagée avec Pirouz Djoharian (prof. agrégé - Grenoble) qui a fait une modélisation théorique des effets de divers modèles viscoélastiques sur les propriétés vibratoires de plaques.



fi. 10 - Comparaison de la viscosité longitudinale et radiale d'un ensemble d'éprouvettes : duralumin, PVC, épicea, composite1, composite2 avec viscoélasticité

#### -Mesure du vieillissement d'un instrument à corde

Ch. Besnainou, P. Guy - GEMPPM-INSA Lyon, S. Vaiedelich -Musée de la Musique

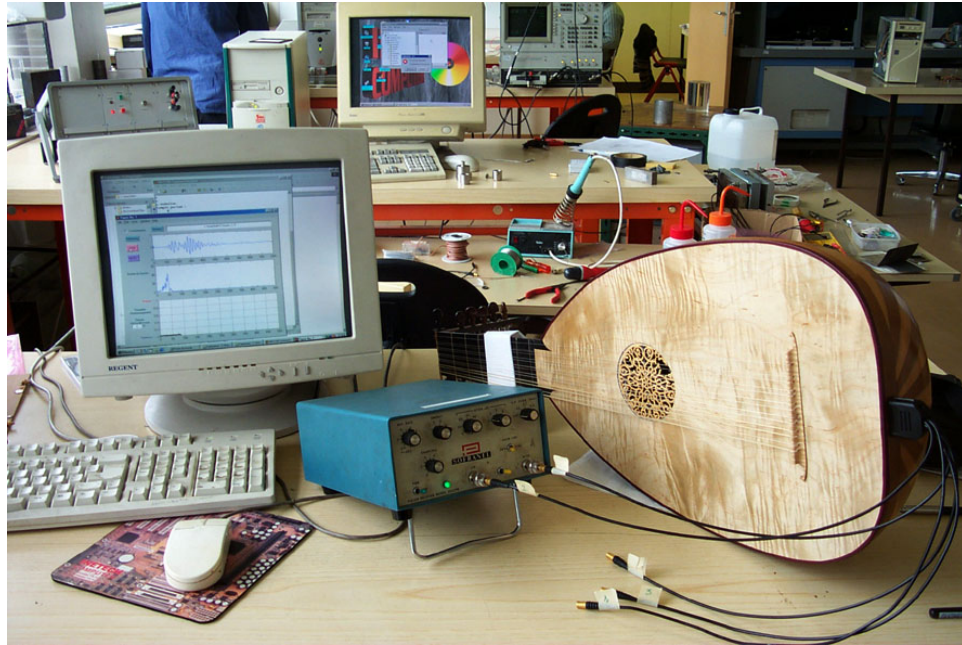
L'amélioration des instruments de musique avec l'âge et/ou en étant joués est un vieux serpent de mer de l'acoustique musicale. C'est en tout cas une affirmation attestée par musiciens et luthiers. Nous avons noué une collaboration fructueuse avec Philippe GUY, professeur à l'INSA de Lyon, pour voir ce qu'il y avait de vrai dans cette légende. Dans le même temps Stéphane VAIEDELICH, responsable du laboratoire de conservation du Musée de la Musique de LaVillette, étant à la recherche d'un protocole de conservation des instruments qui sont parfois prêtés par le musée, pour être joués durant un temps limité, s'est joint à nous. En effet, il s'agit de savoir si ces prêts n'altèrent pas les instruments ou mieux encore dans quelles conditions de jeu les instruments ne souffrent pas.

Plusieurs explications viennent à l'esprit : les musiciens découvrent de mieux en mieux les qualités de leur instrument et ils sont plus habiles à les exploiter ; les propriétés chimiques des bois évoluent au cours du temps ou bien lorsqu'ils vibrent ; sous la contrainte des cordes, de minuscules déformations engendrent de grands effets sur le son ; la sueur des musiciens affectent les propriétés mécaniques de l'instrument...

Les corps des instrument à cordes sont des structures mécaniques dont chaque mode de vibration est caractérisé par sa masse modale, sa raideur et son amortissement. Le vieillissement doit donc être lié aux variations de ces paramètres, paramètres qui eux mêmes dépendent de la géométrie des modes, de l'endommagement du matériau, de la viscoélasticité, etc.

La méthode employée par P. Guy est très simple : un ensemble de transducteurs collés sur la structure permet de mesurer l'impédance électromécanique au point de collage, tandis que

la signature fréquentielle de la fonction de transfert entre deux transducteurs est mesurée. Moyennant un modèle mécanique ad hoc : de ces mesures on peut extraire l'état de contrainte et la viscoélasticité aux points de mesures. Une base de données est constituée au temps  $t_0$  puis aux temps  $t_1, t_2, \dots, t_n$  de façon à pouvoir comparer les résultats entre eux. Si des résultats différents sont corroborés par des appréciations des musiciens au temps  $t_1$ , alors on peut attablir un lien entre le jugement qualitatif du musiciens avec la mesure.



*fig. 11 - Mesure du vieillissement d'une table de luth sous contrainte*

Les premiers résultats sont encourageants, sur un instrument neuf (en composite pour minimiser les multiples variations potentielles) nous avons pu identifier les effets de la contrainte avant et après collage de la table, puis l'incidence de la tension des cordes, la relaxation des contraintes après deux mois de mise sous tension. Certaines zones de la table semblent ne pas être affectées, l'impédance est parfaitement stable depuis 6 mois, alors que d'autres zones –autour du chevalet, zone de contraintes importantes– l'impédance a varié considérablement, suggérant des déformations plastiques. L'analyse des signatures fréquentielles entre transducteurs, par corrélation, indique peu de ruptures de fibres dans leurs sens, alors que dans le sens transverse aux fibres il semble que la matrice de résine souffre plus. La mise en évidence en temps réel de l'incidence de l'humidité a aussi été démontrée lorsque la surface externe a été humidifiée avec une éponge mouillée, de la même manière l'évaporation a été mise en lumière.

#### *-Modélisation de l'équilibre des forces sur un violon*

J. Frelat LMM, Ch. Besnainou, E. Bongini et T. Caulkins -Maîtrise Mécanique

Rien ne ressemble plus à un violon qu'un autre violon, surtout si c'est une "copie". Une fois l'instrument terminé, ce qui va différencier le bon instrument de sa médiocre copie n'est pas apparent, ni au premier coup d'œil, ni au second d'ailleurs : là réside le "secret" des

luthiers. Le savoir faire des facteurs accumule une quantité d'opérations au cours de la construction de l'instrument dont les raisons d'être ne "s'incarneront" qu'une fois l'instrument terminé, et qu'il est correctement réglé. La connaissance de savoir-faire peut apporter, en tentant de les modéliser simplement, bien plus d'informations sur la qualité sonore qu'une modélisation qui se voudrait la plus exhaustive possible sans la prise en compte de ce savoir faire, tout simplement parce que le savoir faire agit là où le système est le plus sensible et donc susceptible de jugements catégoriels du type "bon" / "pas bon", alors que la modélisation "exhaustive" est trop générale. Il s'agit de distinguer l'arbre dans la forêt.

La première chose que fait un luthier lorsqu'il évalue un violon, est de vérifier d'un coup d'œil l'équilibre statique de l'instrument. Emille Leipp a affirmé que cet équilibre, préalable à la qualité sonore, était optimal lorsque les forces appliquées par les cordes sur l'instrument par l'intermédiaire du chevalet formaient un parallélogramme symétrique. Nous avons voulu vérifier les fondements de cette disposition.

Les modélisations utilisant Castem2000 ont confirmé la nécessité de cette configuration. Un violon de type Stradivarius pèse entre 355g et 365g tout compris ; la table, 55g d'épicéa et le fond, 90g d'érable doivent résister, par l'intermédiaire de la couronne des éclisses de 1mm d'épaisseur, à la tension des cordes, égale à : 27 kilogrammes. Il semble clair que tout déséquilibre met alors en danger la tenue mécanique des différentes parties. Les calculs numériques ont montré en particulier comment les modes de flambages de la table et du fond pouvaient s'amorcer si le chevalet n'a pas la bonne taille ou si le sillet n'est pas exactement dans le plan de la table. Dans le même temps, les fréquences des modes propres de la table du violon se modifient lorsque l'équilibre optimal n'est pas respecté.

#### 1.3.2.4 Non-linéarité appliquée par contrôle actif sur un violon

Ch. Besnainou, M. Guillaume -ENS Cachan, F. Durand -ENS Ulm

Nous avons aussi utilisé le contrôle actif pour vérifier l'effet engendré par des non-linéarités du comportement du corps sonore sur le son d'un violon de qualité médiocre. Dans un travail antérieur nous avons déjà réussi à modifier la voix d'un violon par cette technique, cette fois ci nous avons programmé le contrôleur implémenté sur la carte d-Space, placé entre le capteur situé sous la corde et l'actionneur qui fait office d'âme (zone de très grande sensibilité), pour qu'il présente une fonction de transfert non-linéaire (saturation).

Les résultats montrent un enrichissement considérable du spectre des sons produits par l'instrument lorsque le contrôle agit, ainsi que des variations du contenu spectral au cours du temps. Mais "enrichissement du spectre" ne veut pas dire nécessairement son "plus beau". La fonction non-linéaire que nous avons introduite dans le fonctionnement vibratoire du violon agissait de façon identique à toutes les fréquences or les premiers indices de non-linéarité que nous avons repérés avec les mesures de focalisations acoustiques indiquent au contraire des fréquences localisées. Il faudrait donc introduire sur le trajet de la boucle de contrôle des filtres de fréquences ad hoc.

Ce travail reste à développer en relation avec les résultats que nous obtiendront sur les violons avec le miroir à retournement temporel. L'objectif étant d'établir la faisabilité d'un contrôleur qui transforme un violon médiocre en un violon de maître.

### 1.3.3 *Piano*

#### 1.3.3.1 Effets de la précontrainte dans le comportement modal d'une table de piano

Ch. Besnainou, J. Frelat et C. Lacroix LMM, V. Maurel stageDEA

Le construction industrielle de pianos a été le premier exemple de production où la division du travail et où l'élaboration de gammes d'outillages rigoureuses ont été pensé scientifiquement (Steinway), avant même la production des "Ford T". Le savoir-faire propre au piano est tellement connu qu'il passe parfois inaperçu ! La mise en pré-contrainte de table d'harmonie, par exemple, est une opération incontournable dans la voie de "l'accomplissement du son" de l'instrument. La précontrainte est obtenue par la mise en forme de la table sur un élément de cylindre de grand rayon de courbure, avant le collage sur la ceinture ; puis le réglage de l'instrument est obtenu en ajustant la charge des cordes, sur la plaque, pour faire disparaître cette courbure –c'est bien pour cela qu'elle n'est pas facile à observer.

Une collaboration entretenue depuis plusieurs années avec Joël Frelat (LMM) a permis de modéliser ce qui est recherché par les facteurs qui utilisent ce savoir-faire et de comprendre les réglages qui le justifient. La modélisation, utilisant Castem2000, montre que la masse modale généralisée ( $M_{mg}$ ) des modes de la plaque évolue considérablement avec la charge des cordes appliquée sur la plaque par l'intermédiaire du chevalet. Plus précisément, il existe une charge optimale pour laquelle les  $M_{mg}$  des 10 premiers modes calculés passent simultanément par un minimum, ce qui signifie un déplacement maximal, pour les modes concernés, lorsque la plaque est entretenue par la vibration des cordes. Dans le même temps, la raideur modale de chacun des modes passe elle-aussi pas un minimum, indice probable d'effets non-linéaires. Ces résultats de modélisations numériques suggèrent que le couple "précontrainte-charge optimale" à une incidence sur le rayonnement de la table et plus généralement sur la qualité sonore.

Nous poursuivons ce travail en confrontant ces résultats avec des mesures sur un piano spécialement adapté pour faire varier la charge des cordes. (cf. thème 2 : Atelier piano)

#### 1.3.3.2 Mécanique de la touche de piano

X. Boutillon, B. Gillespie & B. Martin Univ. du Michigan

Après une étude détaillée de la bibliographie sur la mécanique de la touche et sur de nombreux aspects connexes (claviers, interface homme-machine, jeu des pianistes etc...), la modélisation mécanique de la touche de piano a été entreprise, mettant en évidence les difficultés notamment dans la modélisation des frottements en jeu. Une simulation numérique d'une partie de la mécanique a été réalisée. De plus, des premières expériences sur la dynamique et les comparaisons entre piano droit et piano à queue ont été réalisées. Enfin, une étude de la reproductibilité du jeu a été menée, s'appuyant sur la détermination quantitative, à l'aide d'un piano DiskKlavier Yamaha, de l'amplitude des notes. Cette étude a été menée avec la participation de pianistes professionnels en situation de jeu. L'ensemble de ces travaux a permis de formuler des hypothèses sur les aspects biomécaniques en relation



avec les caractéristiques dynamiques de la touche. Cette direction de recherche était développée au LAM par Xavier Boutillon avant sa mutation au LM2S (Ecole Polytechnique).

### *1.3.4 Étude de la "Bagana" éthiopienne*

M. Castellengo, S. Weisser CNSM, Ch. Besnainou

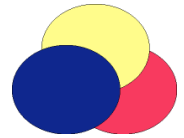
La Bagana est une grande lyre (diapason ~1 m de long) grave (10 cordes de boyau, entre 60 et 120 Hz de fréquence fondamentale) caractérisée par un chevalet plat à obstacle. Cette disposition a pour effet d'enrichir le son dans la zone sensible de l'oreille, si ce dispositif la rapproche de la Tanpura indienne le son qu'elle produit est totalement différent. Nous sommes limités à une étude spectrographique ; M. Castellengo a repéré un lien possible entre la fréquence du mode de vibration longitudinale et l'enrichissement du spectre.

## **1.4 Xylophone**

Ch. Besnainou, N. Cote -IUT Cachan

Nous avons introduit le contrôle actif de structure dans l'univers des instruments de musique depuis le début des années 1990 avec comme perspective la création de nouveaux paradigmes sonores pour les instruments traditionnels. Mais le contrôle actif se révèle aussi être un outil de métrologie lorsqu'il peut aider à tester des hypothèses de fonctionnement de structures vibrantes, en ajoutant ou en retirant quelque chose du fonctionnement naturel de celles-ci.

Un travail d'application avec la carte numérique d-Space (prolongement de Matlab - Simulink) de commande temps réel a permis de nous familiariser avec ce système et de découvrir ses limitations. Un contrôleur temps réel a été programmé et implanté sur la carte d-Space pour réaliser un module de vibrato de fréquence sur une lame de xylophone équipée d'un capteur et d'un actionneur.



## 1.5 Voix

Nathalie Henrich, Michèle Castellengo

### 1.5.1 Introduction

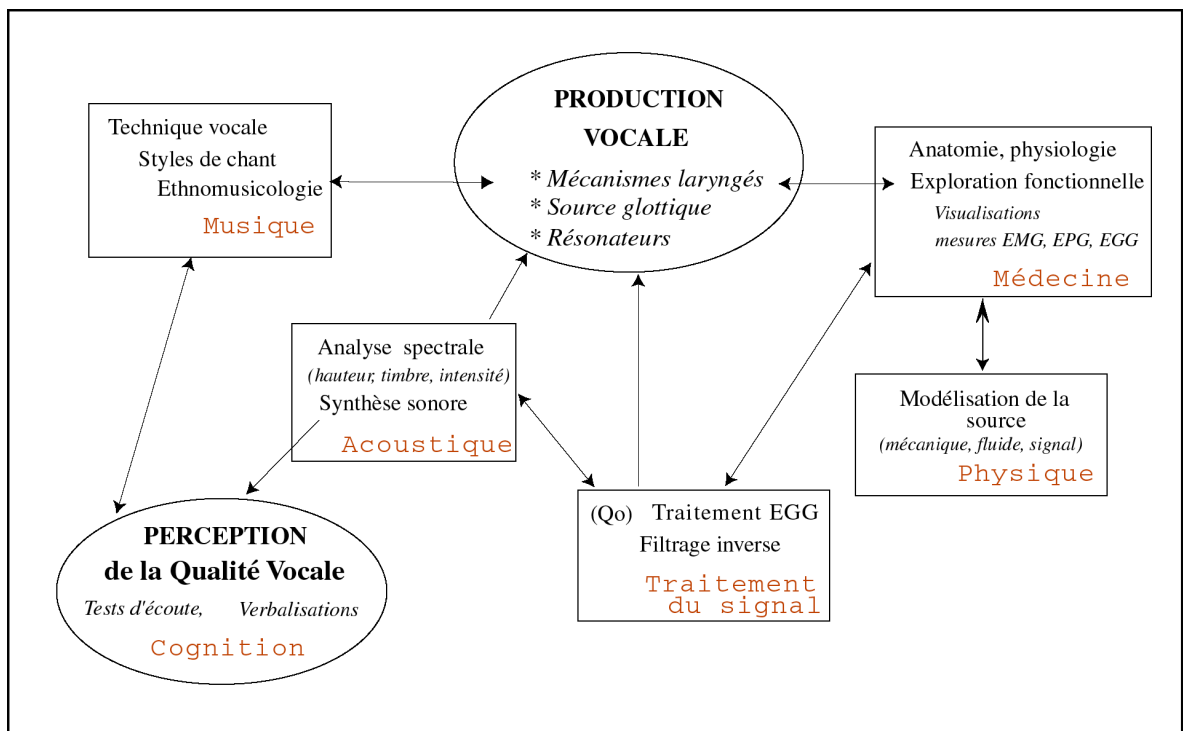
La voix humaine est un thème de recherche complexe, pluridisciplinaire.

Parmi les sources sonores la voix tient une place particulière.

Du point de vue acoustique, l'appareil phonatoire humain permet de produire des sons complexes - sons périodiques ou apériodiques, bruits impulsifs ou continus – mais surtout, il permet de moduler de façon rapide et complexe, le contenu spectral des sons : c'est un "instrument de timbre".

Du point de vue perceptif, la voix a aussi un statut spécifique puisque les sons vocaux humains, qui sont d'une importance vitale pour chacun de nous, sont immédiatement reconnus comme tels et forment une catégorie à part entière. Quand à l'interprétation perceptive des signaux vocaux, elle dépend du contexte de communication puisque les mêmes signaux acoustiques peuvent être interprétés, selon la situation, comme des "cris", de la parole, ou des sons musicaux. En bref, l'auditeur ne portera pas attention aux mêmes paramètres du signal selon le sens qu'il attribue aux sons vocaux.

L'étude physique de la production vocale se heurte à d'énormes problèmes puisque les organes en mouvement ne sont que peu visibles et que la source proprement dite est difficilement accessible. L'étude de cet "instrument vivant" tire donc bénéfice des modélisations aérodynamiques, ainsi que des informations fournies par le traitement du signal vocal, qui permettent de remonter à certaines hypothèses du comportement de la source.



Comme le suggère le diagramme ci-dessus, l'étude de la production vocale s'appuie nécessairement sur la collaboration avec des chercheurs relevant des divers domaines concernés.

Les principales collaborations sont :

Approche fondamentale - Modélisation mécanique et aéroacoustique (M.Hirschberg, T.U.Eindhoven; X. Pelorson, ICP-Grenoble)

Approche médicale - Dysfonctionnements, Explorations fonctionnelles (M. Hess, Univ. Hosp. Eppendorf, Hambourg; S. Hertegard, Hosp.Huddinge, Suède)

Approche rééducationnelle : Bilan acoustique avec analyses acoustiques (B. Roubeau, orthophoniste, Hopital Tenon, Paris; M. A. Faure, phoniatre)

Approche traitement du signal - Modélisation, estimation (C. d'Alessandro, B. Doval; lab. LIMSI, CNRS)

Approche phonétique - Prosodie, émotions (Laboratoire de phonétique de Paris III)

Approche artistique - Technique vocale (B. Chuberre, R. Expert, D. Blanchard)

Les enjeux d'une recherche sur la production et la perception de la voix sont multiples puisque la phonation concerne tout être humain, que la parole et la musique vocale tiennent une place importante dans les relations humaines, et que d'une façon générale toute situation de communication implique à des degrés divers la production vocale naturelle ou synthétique.

Certains des aspects de la recherche ont été abordés au LAM dans le passé.

- Années 70 : synthèse de parole à l'icophone : étude des formes acoustiques véhiculant le contenu sémantique, indépendamment des qualités de la voix. [E.Leipp, J.S. Liénard, M. Castellengo]. Etude de plusieurs pathologies vocales [S. Borel Maisonnay, E. Leipp, M. Castellengo]

- Années 80 : mécanismes vibratoires laryngés en voix parlée et en voix chantée [M. Castellengo, B. Roubeau]

- Années 95 à 2000 : Registres de la voix chantée, la couverture, le sifflet, la voix mixte [B. Chuberre, C. Mathias]

Un bilan de ces recherches a été présenté par M. Castellengo au premier congrès international sur la physiologie et l'acoustique de la voix chantée, en Octobre 2002, à Groningen<sup>2</sup>. Cette manifestation offrait un double intérêt. D'une part, elle a rassemblé des scientifiques, des médecins et des artistes lyriques; d'autre part, les intervenants devaient faire une synthèse de l'ensemble de leurs recherches. Ce fut pour nous l'occasion de souligner l'intérêt et la fécondité de notre approche pluridisciplinaire qui conjugue l'analyse acoustique et la perception, et de montrer en particulier l'importance que l'on doit accorder aux variations temporelles des signaux.

Depuis 1997, la recherche sur la voix, qui n'avancait jusqu'alors que de façon très épisodique, est devenue un thème dynamique avec la venue de Nathalie Henrich. Un réseau

---

<sup>2</sup> 1<sup>st</sup> international conference PAS - 23 conférenciers invités, M. Castellengo, seule française. Le texte Anglais est en ligne sur le serveur du LAM avec les exemples sonores.

de chercheurs en interaction permanente avec le LAM s'est constitué. Une vingtaine d'artistes lyriques sont venus faire des enregistrements au laboratoire, et certains mènent un travail personnel dans le cadre de leurs études du Conservatoire de Musique. Deux ateliers permanents rassemblent scientifiques, phoniâtres et musiciens : l'atelier Voix Chantée, et le groupe Qualité Vocale.

Enfin nous avons été sollicités en 2003 par l'Université Paris 6 pour donner une des cinq conférences générales Quinte&Sciences sur les "sens": celle sur les ondes sonores et l'ouïe, qui a principalement porté sur l'étude des sons vocaux.

### 1.5.2 Etude de la source glottique en voix parlée et chantée : modélisation et estimation, mesures acoustiques et électroglottographiques, perception.

Thèse de Nathalie Henrich

Dans cette étude, nous nous sommes attachés à caractériser et décrire les paramètres de source glottique en voix parlée et chantée, en mettant l'accent sur le quotient ouvert et le coefficient d'asymétrie. Pour aborder cette étude sous plusieurs angles, nous avons utilisé trois approches complémentaires : une approche théorique, une approche expérimentale et une approche perceptive.

#### 1.5.2.1 Approche théorique

Nous nous sommes placés dans le cadre des modèles de signaux, ou modèles d'Onde de Débit Glottique (ODG) et nous nous sommes appuyés sur un formalisme mathématique qui permet d'exprimer un modèle d'ODG dans le domaine temporel comme dans le domaine spectral à l'aide de 5 paramètres de source qui sont présentés sur la Figure 1: la période fondamentale  $T_0$ , l'amplitude de voisement  $A_v$  ou la vitesse de fermeture  $E$ , le quotient ouvert  $O_q$ , le coefficient d'asymétrie  $\alpha_m$  et le quotient de phase de retour  $Q_a$ . Ce formalisme permet d'étudier de façon analytique les effets temporels et spectraux de ces paramètres.

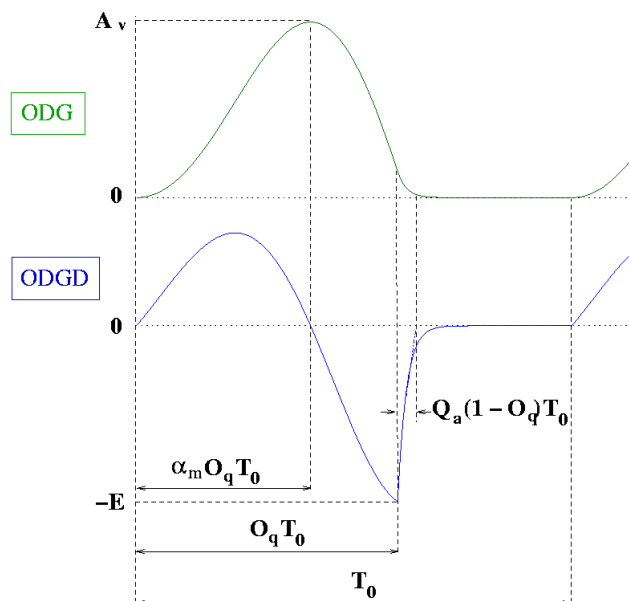


Figure 12 - Forme générique d'une période d'un signal ODG et de sa dérivée (ODGD).

L'effet spectral de l'amplitude de voisement ou de la vitesse de fermeture a été souligné : une augmentation de ce paramètre de source glottique amène une amplification générale de l'intensité sur l'ensemble du spectre de source glottique. Les effets spectraux du quotient ouvert et du coefficient d'asymétrie sont dépendants du fait que l'on fixe l'un ou l'autre de ces deux paramètres. Dans le cas où  $\alpha_v$  reste constant, une augmentation du quotient ouvert entraîne une atténuation spectrale des hautes fréquences et une translation de la position fréquentielle du formant glottique vers les basses fréquences, comme illustré sur la Figure . Une augmentation du coefficient d'asymétrie entraîne une accentuation spectrale dans les hautes fréquences, une augmentation de la largeur de bande du formant glottique et une légère augmentation de sa position fréquentielle. Dans le cas où  $E$  reste constant, les effets haute fréquence de ces deux paramètres de source glottique sont supprimés. Enfin, une augmentation du quotient de phase de retour entraîne une atténuation spectrale des hautes fréquences. Un quotient de phase de retour non nul correspond à l'ajout d'un filtre passe-bas dans les hautes fréquences, dont la fréquence de coupure diminue quand  $Q_a$  augmente.

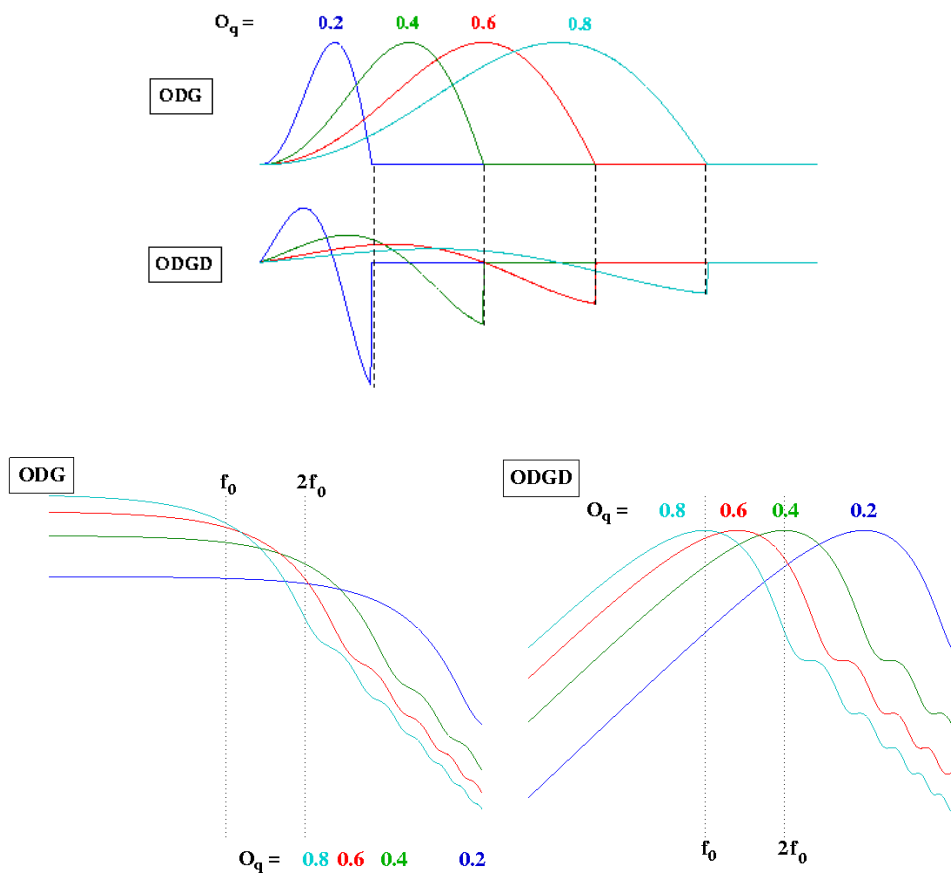


Figure 13- Effets temporels et spectraux d'une variation du quotient ouvert.

La position fréquentielle du formant glottique dépend essentiellement des paramètres  $O_q$  et  $\alpha_m$  mais peut également être modifiée légèrement par une variation de  $Q_a$ . Cette position est de l'ordre de la fréquence fondamentale, pour des conditions standard de phonation, c'est-à-dire  $O_q$  proche de 0.6,  $\alpha_m$  proche de 2/3 et  $Q_a$  nul. La fréquence du formant glottique peut atteindre 4 à 8 fois la fréquence fondamentale quand  $O_q$  diminue et  $\alpha_m$  augmente.

Nous avons voulu étudier plus en détail les effets basse fréquence des paramètres de source glottique en nous focalisant sur la différence spectrale ( $H_1-H_2$ ) entre les 2 premiers harmoniques, différence qui est souvent associée à une mesure du quotient ouvert. Nous

avons étudié cette différence spectrale sur un plan théorique et montré que, selon le modèle d'ODG employé, la relation entre  $Oq$  et  $(H1-H2)$  n'était pas forcément bijective. Pour une valeur donnée de  $(H1-H2)$ , il peut exister une plage de variation du quotient ouvert, en fonction des valeurs prises par le coefficient d'asymétrie. Des mesures spectrales de  $(H1-H2)$  ont été effectuées par filtrage inverse sur des signaux réels de parole et de chant, afin de déterminer des plages de variation de cette différence spectrale et de discuter les possibilités et limites des modèles d'ODG. Elles montrent que les valeurs mesurées ne sont pas toujours contenues dans les domaines de variation théoriques calculés à partir des modèles d'ODG. Ceci est surtout marquant pour le chant, où l'amplitude de variation de  $(H1-H2)$  peut être considérable, dépassant plus que largement les bornes des domaines théoriques dans le cas du mécanisme I. Les limitations du filtrage inverse pourraient expliquer en partie ces résultats. Néanmoins, cela renforce également l'impression que les modèles d'ODG appliqués dans le cadre de la parole ne sont pas à même de reproduire les productions vocales chantées. En particulier, ces modèles s'appuient sur la théorie source-filtre, qui suppose la source sans interaction avec le filtre, alors que les chanteurs cherchent justement à ajuster leurs cavités résonnantes pour amplifier l'intensité vocale perçue, en faisant coïncider les harmoniques du son produit avec la fréquence des formants.

#### 1.5.2.2 Approche expérimentale

Les résultats des mesures de  $(H1-H2)$  dans le cadre du chant nous rappellent que les modèles d'ODG ne sont que des modèles, qu'ils ont donc leurs limitations et qu'ils ne sont pas toujours à même de traduire toutes les possibilités vocales d'une production réelle. En particulier, dans une approche théorique, nous pouvons étudier les variations des paramètres de source en les supposant indépendants les uns des autres, ce qui ne doit pas faire oublier que ces paramètres ne sont vraisemblablement pas indépendants dans la réalité, mais qu'ils varient conjointement.

Nous avons donc effectué une étude expérimentale du quotient ouvert en fonction de l'intensité vocale et de la fréquence fondamentale. Ces mesures ont été effectuées à partir de l'électroglottographie (EGG), une méthode d'investigation du mouvement glottique simple et non-invasive dont l'avantage majeur est qu'elle permet la caractérisation de certains aspects du mouvement glottique sans avoir recours au filtrage inverse. Les caractéristiques de ces signaux sont illustrées sur la Figure .

18 chanteurs ont été enregistrés : 7 barytons, 2 ténors, 3 contre-ténors, 3 mezzo-sopranos et 3 sopranos. Un protocole a été élaboré, dans le but d'amener le chanteur à interpréter, dans sa production vocale naturelle et non-contrainte, des vocalises, des voyelles tenues, des sons filés et des phrases musicales sur différentes intensités, différents hauteurs et différents timbres. Une attention toute particulière a été portée sur la détermination du mécanisme laryngé dans lequel avait lieu la production vocale, par écoute et discussion avec le chanteur.

A l'aide de ces enregistrements, la variation du quotient ouvert a pu être étudiée en fonction de la fréquence fondamentale et de l'intensité vocale. La mesure du quotient ouvert nécessite la connaissance précise des instants d'ouverture et de fermeture glottique. Nous nous sommes donc intéressés à la dérivée des signaux électroglottographiques, car elle peut présenter des pics marqués qui coïncident alors avec ces instants. La détection des pics d'ouverture et fermeture glottique sur les signaux DEGG permet une détermination très fiable de la fréquence fondamentale et du quotient ouvert dans le cas où ces pics sont bien marqués.

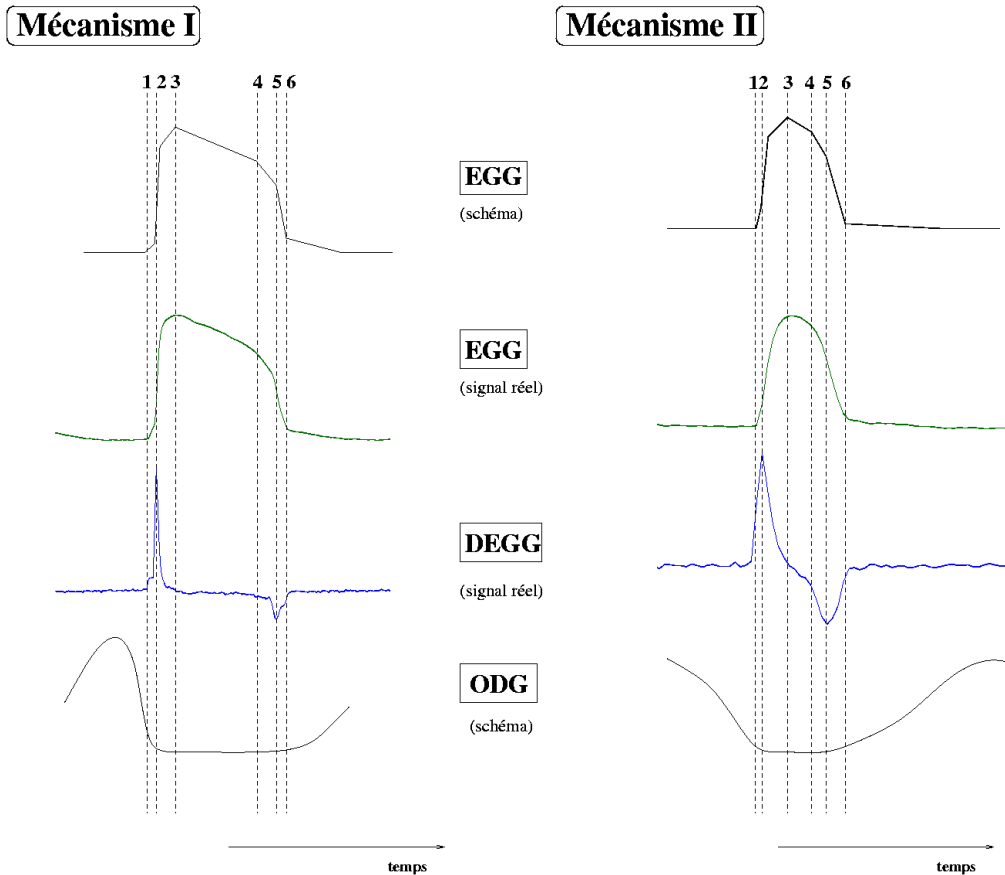


Figure 14 - Illustration des étapes du mouvement glottique visualisées sur un signal EGG et sur sa dérivée. (1)-(3) : phase de fermeture, (3)-(4) : phase fermée, (4)-(6) : phase d'ouverture, (6)-(1) : phase ouverte. Pour comparaison, un schéma du débit glottique correspondant (ODG) a été représenté.

Dans un premier temps, nous avons exploré la base de données relativement à la qualité de ces pics et nous avons noté qu'il existe de nombreux cas pour lesquels ces pics sont dédoublés soit à l'ouverture, soit à la fermeture. Quelques cas typiques ont été décrits qualitativement, comme par exemple le passage entre mécanismes. Nous avons alors mis en place une procédure de sélection des signaux exploitables pour la mesure de fréquence fondamentale et de quotient ouvert, basée sur la détection de la multiplicité du pic d'ouverture et du pic de fermeture et nous avons proposé une méthode indirecte de mesure du quotient ouvert par autocorrélation et intercorrélation (DECOM, « DEgg Correlation-based method for Open quotient Measurement »). Une étude comparative des méthodes par électroglottographie et par filtrage inverse du signal acoustique dans le cas de la parole a montré que **la mesure de quotient ouvert est plus fiable si elle prend en compte les signaux DEGG**. Les méthodes par détection de seuil sur les signaux EGG sont néanmoins plus robustes et nous pouvons envisager de compléter la méthode basée sur les signaux DEGG par une méthode de seuil pour la détection de l'instant d'ouverture quand le pic d'ouverture est peu marqué ou dédoublé.

En appliquant cette méthode de mesure du quotient ouvert à l'analyse de la base de données, nous avons tout d'abord montré l'importance des mécanismes laryngés et leur influence très marquée sur la valeur de quotient ouvert mesurée. Ainsi, le mécanisme I se traduit de façon générale par des quotients ouverts plus faibles qu'en mécanisme II, comme nous pouvons le voir sur la Figure . L'observation des valeurs de Oq peut alors apporter des indications concernant le mécanisme utilisé pour une production vocale donnée, mais ne permet pas une détermination sûre de la nature de ce mécanisme.

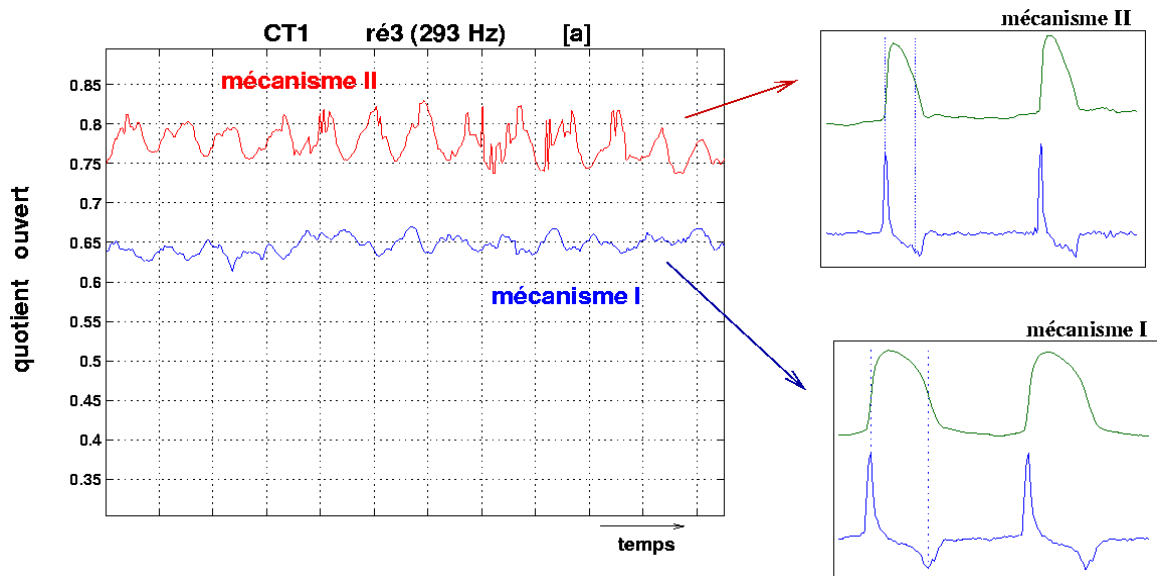


Figure 15 - Mesure du quotient ouvert sur une même note tenue chantée par un contre-ténor en mécanisme I et en mécanisme II. Cette figure illustre la relation entre le quotient ouvert et les mécanismes laryngés.

Sur les glissandos effectués par les chanteurs, **la transition entre mécanismes**, qui peut ou non s'accompagner d'un saut brusque de la fréquence fondamentale, est généralement marquée par **un saut de quotient ouvert**, comme l'illustre l'exemple présenté sur la Figure . Cette variation du quotient ouvert en dehors d'une variation marquée d'intensité vocale ou de fréquence fondamentale peut alors donner une indication sur le mécanisme laryngé et elle confirme la réalité physiologique des mécanismes laryngés. Il nous paraît donc nécessaire de spécifier dans toute étude portant sur le quotient ouvert le mécanisme dans lequel a lieu la production.

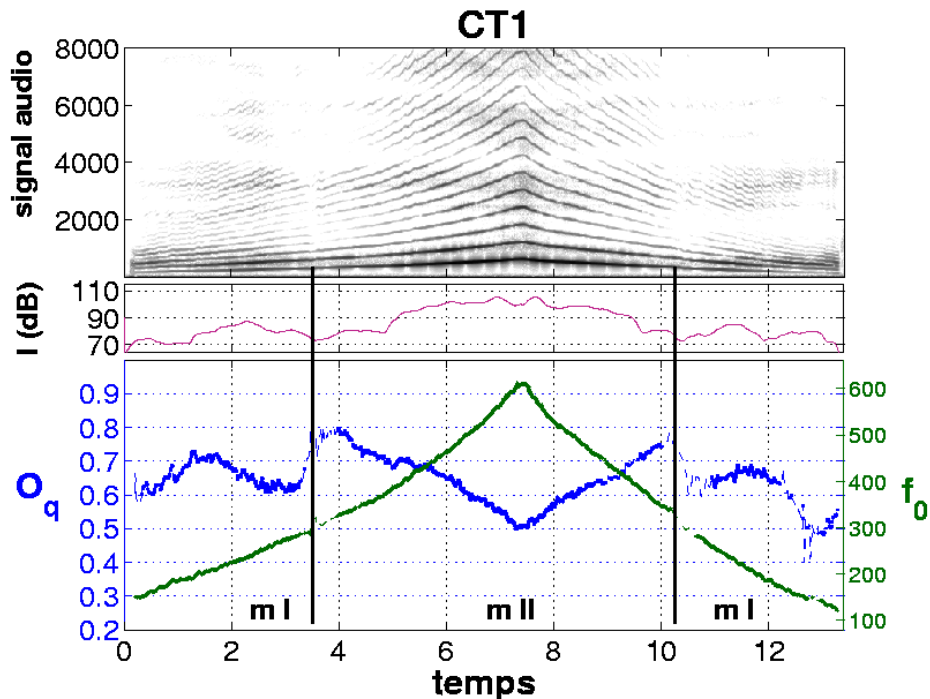


Figure 15 - Glissando chanté par un contre-ténor, avec transition mI-mII pendant la phase ascendante et mII-mI pendant la phase descendante. Ces transitions sont difficilement perceptibles à l'oreille, mais sont marquées par un saut très net de quotient ouvert.



Nous avons noté une très grande variabilité de comportement entre les chanteurs, que ce soit au sein d'une même catégorie vocale ou entre catégories vocales. Au-delà de cette variabilité, des tendances générales se dégagent néanmoins.

La corrélation possible entre **quotient ouvert et intensité vocale** a été étudiée. En particulier, nous avons identifié une corrélation forte dans le cas du mécanisme I, mais aucune corrélation dans le cas du mécanisme II. A l'inverse, nous avons mis en évidence une corrélation forte entre **quotient ouvert et fréquence fondamentale** dans le cas du mécanisme II, qui ne se trouve pas dans le cas du mécanisme I. Cette corrélation peut s'observer sur la Figure , quand le chanteur est en mécanisme II.

Nous avons également étudié les variations possibles du quotient ouvert en fonction de la voyelle demandée au chanteur et observé que le quotient ouvert avait généralement des valeurs plus élevées pour une voyelle [a] que pour les voyelles [e] et [u], dans le cas du mécanisme I. Dans le cas du mécanisme II, il ne semble pas y avoir d'effet par rapport à la voyelle demandée.

### 1.5.2.3 Approche perceptive

Nous avons enfin procédé à une étude perceptive du seuil minimal de détection des variations du quotient ouvert et du coefficient d'asymétrie afin de déterminer dans quelle mesure la variation de l'un ou l'autre de ces paramètres pouvait amener à une différence effectivement perceptible sur un son voisé donné. Le test perceptif a été élaboré dans la continuité d'une étude antérieure (Scherer et al. , 1998). Nous avons repris la même méthode adaptative à choix forcé <<1-up 2-down>>, que nous avons implémentée sous forme d'un module Matlab. Ce module a été ajouté à la structure de l'environnement de tests perceptifs LISE. Les stimuli ont été synthétisés en mettant l'accent sur le côté naturel du son. Pour ce faire, nous avons utilisé pour la synthèse la connaissance des instants de fermeture glottique détectés sur un signal de voix chantée réel, les autres paramètres de source glottique et la fonction de transfert modélisant le conduit vocal étant gardés constants.

Le seuil différentiel a été déterminé pour 3 valeurs de  $O_q$  (0.4, 0.6 et 0.8) et 2 valeurs de  $\alpha_m$  (2/3 et 0.8). Il dépend de la valeur cible du paramètre de source glottique. Il augmente quand  $O_q$  augmente ou quand  $\alpha_m$  diminue. Par comparaison des seuils déterminés dans deux situations différentes, les effets possibles d'un changement de voyelle, de hauteur, d'une suppression du vibrato ou du choix du paramètre d'amplitude gardé constant ont été étudiés. Il n'a pas été observé d'effet très significatif de la voyelle (comparaison [a] / [e]) ni de la fréquence fondamentale (comparaison  $f_0 = 130$  Hz ou 196 Hz). Par contre, un effet très significatif du vibrato et du paramètre d'amplitude a été observé. Quand la fréquence fondamentale est gardée constante (suppression du vibrato), le seuil différentiel diminue. Quand la vitesse de fermeture  $E$  est gardée constante, le seuil différentiel augmente par rapport à la situation où l'amplitude de voisement  $A_v$  est gardée constante.

Les résultats de cette recherche ont donné lieu à une publication dans la revue « Journal of voice »

En conclusion, ce travail a contribué à une meilleure connaissance des paramètres de source glottique qui gouvernent la qualité vocale. Dans sa pratique vocale, le chanteur ne se préoccupe pas de quotient ouvert ou de coefficient d'asymétrie mais il règle d'autres paramètres, tels l'intensité, la hauteur ou la richesse spectrale. Par notre approche, nous avons donc tenté de relier ces aspects perceptifs à des paramètres physiques.

### 1.5.3 Caractérisation du mouvement vibratoire glottique

La qualité d'un son voisé est fortement dépendante de la façon dont les cordes vocales vont s'accoler. C'est pourquoi nous avons cherché à développer et caractériser des méthodes expérimentales de mesure des phénomènes physiologiques et physiques qui interviennent lors de la production de sons voisés, et à les appliquer pour la caractérisation du mouvement vibratoire glottique dans le cas de productions vocales parlées et chantées.

#### 1.5.3.1 La technique de transillumination et ses applications

N. Henrich, coll. M. Hess

Une collaboration a été mise en place avec l'équipe du Pr. Hess (Department of Phoniatics and Pedaudiology, University Hospital Eppendorf, Hambourg, Allemagne) pour améliorer une technique récente de visualisation du mouvement glottique, la transillumination strobophotoglottographique, et l'appliquer à la cinématographie ultra-rapide. Les images obtenues par l'utilisation de cette technique sont illustrées sur la Figure . L'idée à terme est d'utiliser cette technique de visualisation des cordes vocales pour caractériser la dérivée des signaux électroglottographiques et tenter de reconstruire le mouvement glottique sur l'épaisseur. Les premiers résultats de ce projet sont encourageants. Ils montrent que la technique peut se transposer à la cinématographie ultra-rapide. Néanmoins, l'illumination de la glotte n'est pas homogène et ce problème reste à résoudre, avant de pouvoir faire des mesures quantitatives sur les images obtenues en cours de phonation. Ce projet est en cours. Les premiers résultats ont été présentés à la conférence internationale « Advances in Quantitative Laryngoscopy » en Avril 2003.

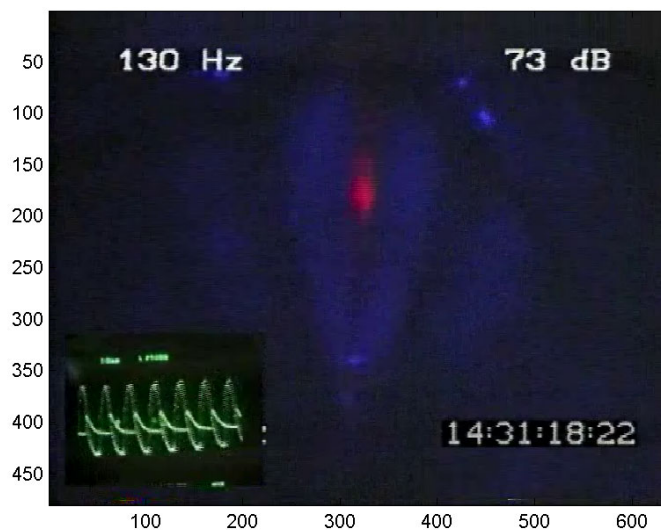


Figure 17 - Visualisation des cordes vocales par la technique de transillumination bi-directionnelle. Les cordes vocales sont éclairées par le dessous à l'aide d'une source lumineuse appliquée sur le cou (lumière rouge) et par le dessus à l'aide d'un endoscope rigide (lumière bleue).

1.5.3.2 Caractérisation des signaux électroglottographiques dérivés par cinématographie ultra-rapide

N. Henrich, coll. C. Gendrot, S. Hertegård, H. Larsson, S. Granqvist

Toujours dans l'optique de caractériser les phénomènes particuliers observés sur la dérivée des signaux électroglottographiques (dédoubléments des pics à l'ouverture et à la fermeture glottique), un travail est en cours avec Cédric Gendrot, un doctorant de l'ILPGA (Institut de Linguistique et Phonétique Générales et Appliqués, Université Paris 3). Une base d'images obtenues par cinématographie ultra-rapide et de signaux électroglottographiques a été constituée en Juin 2002 à l'Hôpital de Huddinge en Suède, en collaboration avec Stellan Hertegård, Hans Larsson et Svante Granqvist (Department of Logopedics and Phoniatrics, Huddinge University Hospital, Sweden). Des glissandos, des sons tenus et des crescendos ont été produit par deux chanteurs amateurs. Cette base de données est en cours d'analyse.

1.5.3.3 Chant sarde « A Tenore » : étude de la voix de bassu

N. Henrich, M. Castellengo

Ce projet, mené en collaboration avec Bernard Lortat-Jacob (Laboratoire d'Ethnomusicologie, Musée de l'Homme), porte sur la caractérisation de la technique vocale utilisée dans le chant traditionnel "a tenore" pratiqué en Sardaigne par quatre chanteurs masculins. Nous nous intéressons plus particulièrement à la technique vocale du "bassu", la voix la plus grave du quatuor, qui produit une sorte de "diphonie à la source" par doublement de période. Partant d'une émission à 200 Hz il produit un fondamental musical de 100Hz, avec toute la série des harmoniques. Nous cherchons à comprendre les mécanismes physiologiques et acoustiques qui entrent en jeu lors de la production de ce son. Dans un premier temps, les signaux acoustiques et électroglottographiques d'un bassu chantant au sein d'un quatuor ont été enregistrés dans la chambre sourde du LAM, en Mars 2002. En complément, des exemples d'une telle production ont été reproduits en laboratoire par B. Lortat-Jacob et enregistrés. Les analyses des signaux électroglottographiques ont montré nettement le doublement de la période, par une diminution de l'amplitude du signal toutes les deux périodes.

Dans un second temps, une exploration laryngoscopique de cette phonation va être effectuée. Elle devrait permettre de mieux comprendre les raisons physiologiques de ce doublement de période.

1.5.4 *Quatre Mécanismes vibratoires en voix parlée et en voix chantée*

M. Castellengo; N. Henrich

On considère habituellement la voix comme un système source filtre. Mais cette source, responsable de la fréquence fondamentale des sons produits, change de configuration vibratoire du grave à l'aigu. En considérant les paramètres mécaniques du vibreur – masse, raideur, longueur vibrante – et certains phénomènes caractéristiques des transitions d'un état vibratoire donné à un autre, on observe quatre mécanismes laryngés. Ces quatre mécanismes, communs à tous les humains (enfant, homme et femme), ont des possibilités expressives (étendue en fréquence, intensité et variation de timbre) qui dépendent de l'âge, du sexe, et

principalement de l'usage qui en est fait. Les artistes - acteurs et chanteurs - distinguent pour leur part différents "registres" vocaux qui sont la combinaison d'un mécanisme laryngé et d'une configuration particulière des résonateurs pour produire une qualité vocale donnée.

Le vocabulaire en usage chez les chanteurs, et même chez les acousticiens, est finalement assez confus, et ne fait pas la part entre les mécanismes laryngés et les registres résonantiels. Il en résulte de nombreuses ambiguïtés quant à l'interprétation des résultats de mesures.

Depuis de nombreuses années, nous nous sommes efforcés, avec B. Roubeau, de distinguer clairement les deux niveaux d'observation : laryngé et résonantiel, et de rechercher le maximum d'indices objectifs permettant de repérer avec certitude le mécanisme utilisé par le phonateur. Grâce aux résultats de la thèse de N. Henrich, ces travaux antérieurs ont trouvé un regain d'intérêt, donnant lieu à des mémoires de recherche et à des publications.

#### 1.5.4.1 Proposition d'une terminologie "neutre" pour la désignation des mécanismes laryngés.

La terminologie que nous utilisons depuis une dizaine d'année, et en particulier le parti pris de numérotation des mécanismes laryngés pour échapper aux termes usuels ambigus commence à être adoptée dans la communauté scientifique. Une synthèse des observations électroglottographiques et acoustiques caractérisant les mécanismes laryngés a été présentée à Stockholm au 3<sup>ème</sup> congrès SMAC.

#### 1.5.4.2 Les phonétogrammes par mécanismes laryngés : la zone commune aux deux mécanismes

M. Castellengo, B. Roubeau

Le phonétogramme représente l'étendue dynamique des sons vocaux d'une personne. 40 sujets hommes et femmes, chanteurs et non-chanteurs, se sont prêtés à la mesure des phonétogrammes par mécanismes. Les résultats ont permis la mise en évidence des points communs aux deux sexes : étendue en fréquence de la zone de recouvrement des deux mécanismes principaux, et les différences qui tiennent soit à la pratique du chant, soit au choix esthétique de la personne quand à l'usage préférentiel d'un mécanisme sur un autre.

La publication soumise à *Folia Phoniatica* a été acceptée.

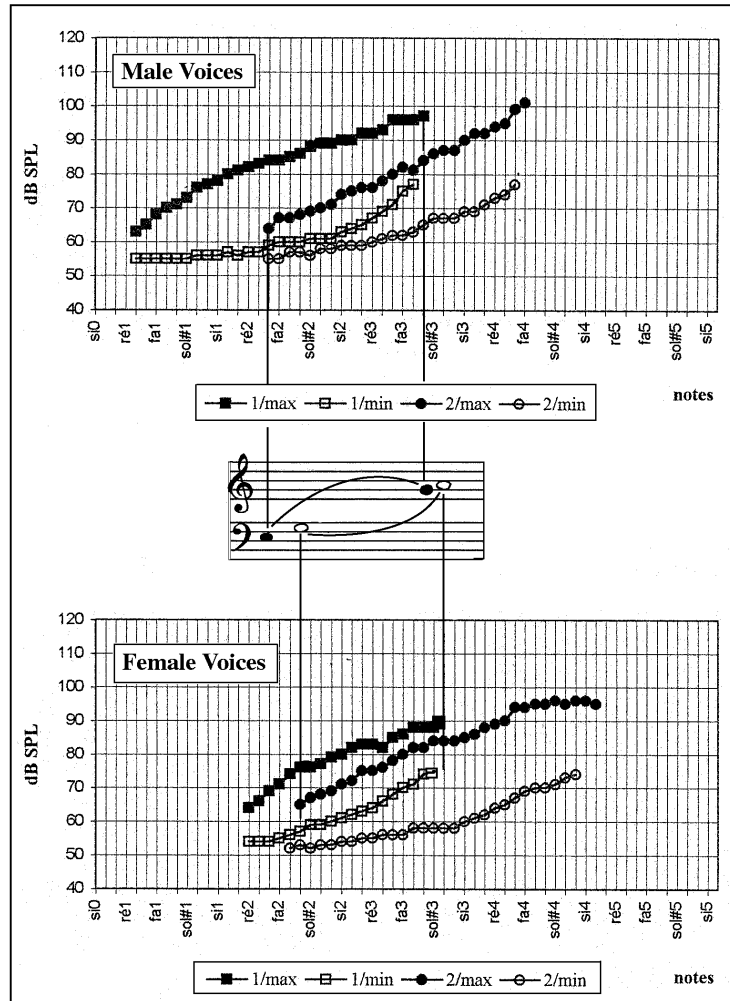


Figure 18 - Phonétogrammes moyens de sujets masculins et féminins, dans les deux mécanismes vibratoires.

### 1.5.4.3 Les registres des chanteurs

Coll. B. Chuberre; R. Expert

Deux chanteurs ayant suivi l'enseignement d'acoustique musicale du CNSM ont développé une recherche sur les registres, en prenant pour base la structure sous-jacente des mécanismes laryngés.

La couverture - Bertrand Chuberre, artiste chanteur et phoniatre, a effectué une série d'enregistrements pour caractériser la technique de "couverture de la voix" chez l'homme. En se fondant d'une part sur la mesure du quotient ouvert de l'EGG, et d'autre part sur l'analyse acoustique des voyelles émises en voix de poitrine (mécanisme 1) et en fry (mécanisme 0) il a caractérisé la "couverture" comme un registre résonantiel en mécanisme 1. Le larynx s'abaisse et la fréquence des formants vocaliques se modifie. Cette technique permet au chanteur de monter dans l'aigu du mécanisme 1 en restant à l'abri d'accidents vocaux.

Bertrand Chuberre : Les registres et passages dans la voix chantée. Mémoire pour le prix d'acoustique musicale au CNSM (2000).

La voix "mixte" fait l'objet de nombreuses discussions, en particulier quand à un éventuel "mélange" entre deux registres. En replaçant l'étude dans le cadre de la double conception : mécanismes laryngés et registres résonantiels, nous avons pu montrer que le fait de "mixer" correspond à des techniques vocales réalisées diversement selon que le chanteur est en mécanisme 1 ou en mécanisme 2. Utilisée pour effectuer la transition entre les timbres différents des deux principaux mécanismes laryngés, la voix mixte est bien un registre résonantiel qui permet de masquer le passage entre les mécanismes 1 et 2, en jouant sur la durée de fermeture, sur l'adduction ou la vitesse de fermeture des cordes vocales et, accessoirement sur le vibrato et la forme des cavités de résonance. Le chanteur s'efforce ainsi de "copier" les qualités spectrales du registre adjacent.

Nous disposons maintenant d'une documentation historique sur les points de vue des chanteurs et des acousticiens et d'une caractérisation acoustique des deux types de Voix mixte (Mesures comparées de spectre, d'intensité, du quotient ouvert Oq dans les deux mécanismes M1 et M2 et en voix mixte)

Robert Expert, chanteur professionnel a développé considérablement l'étude dans le cadre de son mémoire "Les voix d'alto : Essai de catégorisation des voix d'alto par les mécanismes laryngés". Mémoire pour le prix d'acoustique musicale au CNSM (2003)

Une publication est en cours : La voix mixte, ou comment gérer une transition graduelle entre les deux mécanismes vibratoires principaux"

La "voix de sifflet"<sup>3</sup>, mécanisme laryngé qui permet d'atteindre les fréquences les plus élevées (jusqu'à 2000 Hz) a été explorée systématiquement chez l'homme comme chez la femme. La transition du mécanisme 2 au mécanisme 3 (sifflet) s'accompagne fréquemment de non-linéarités. L'étude en a été faite dans les phonétogrammes par mécanismes, et avec des chanteuses professionnelles. Une question reste posée quand à la nature effective de ce "mécanisme 3". Il n'est pas certain que la discontinuité de fréquence qui marque la frontière avec le mécanisme 2 soit toujours due à un réel changement de configuration vibratoire des cordes vocales. D'une part les conditions d'observation sont difficiles. L'amplitude de l'EKG à ces fréquences élevées est faible et l'observation du mouvement des cordes vocales peu aisée en raison du recul de la langue. D'autre part, on peut observer des ruptures similaires pour certains ajustements vocaliques, ce qui nourrirait l'hypothèse qu'il pourrait s'agir d'un registre résonantiel. Le sujet reste donc d'actualité et fera l'objet d'une exploration systématique.

### *1.5.5 Etude comparée des qualités de la voix chantée avant et après une amydalectomie*

E. Nikolitsa, M. Castellengo

Le travail s'est déroulé dans le cadre du DEA "Art, esthétique" de Paris 8. Il s'agissait de caractériser les qualités d'une voix de soprano en recueillant diverses mesures : phonétogrammes dans les mécanismes 1, 2 et 3; EKG; Formants des voyelles cardinales sur plusieurs notes de la tessiture; arpèges rapide; sons vibrés. La comparaison des données avant

---

<sup>3</sup> Contrairement à la dénomination utilisée, la voix de « sifflet » n'est pas produite par un jet d'air oscillant de part et d'autre d'un biseau, mais toujours par la vibration des cordes vocales!

et après l'intervention devant permettre d'objectiver les différences entendues. Plusieurs difficultés sont apparues. Tout d'abord il n'a pas été possible d'exploiter l'EKG en raison du faible niveau d'enregistrement. Ensuite la récupération physiologique n'était pas satisfaisante au moment du deuxième enregistrement. Mais les principales difficultés tiennent aux compensations que met inconsciemment en place la chanteuse, de façon à "retrouver" les sonorités antérieures. Lors des tests musicalement neutres, par exemple sur des voyelles tenues, il a été possible de mettre en évidence des changements systématiques dans la position de formants vocaliques, par exemple le [a]. A l'opposé, lors de la réalisation de phrases musicale, le contrôle sonore "à l'oreille" du sujet montrait qu'il était capable de retrouver la même qualité vocale que précédemment, malgré les changements anatomiques. En d'autres termes, la qualité vocale est dans la mémoire du sujet et celui-ci pallie aux modifications intervenues en procédant à d'autres ajustements grâce à la plasticité du vivant. En d'autres termes il n'y a pas de modèle anatomique idéal de voix, chacun "se débrouille" avec ce dont il dispose. cf # DEA

### 1.5.6 Etude acoustique de différents styles vocaux produits par une même chanteuse

N. Henrich, coll. L. Popeil

Ce projet porte sur l'étude des styles vocaux dans le chant de variété, dans le but de comprendre ce qui les caractérise et ce qui les différencie. Une base de données comportant les signaux audio, électroglottographiques et de pression intra-orale a été enregistrée pour ce projet au Department of Speech Music and Hearing (TMH, KTH, Stockholm, Suède). Dans un premier temps, une description acoustique d'une même phrase chantée par une chanteuse professionnelle sur huit styles différents a été effectuée, mettant en avant les caractéristiques propres à chaque style sur cet exemple particulier. Les premiers résultats de cette étude ont présentés dans le cadre du Voice Foundation's Annual Symposium "Care of the Professional Voice" (Philadelphia, USA) en Juin 2003. Ils sont illustrés sur les Figure , Figure 8 et Figure 9.

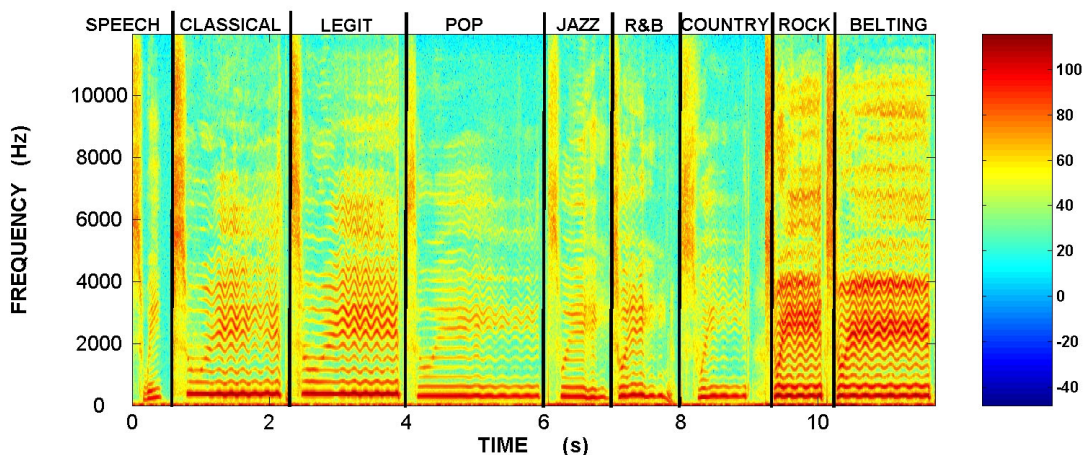


Figure 19 - Analyse temps-fréquence du mot "sweet" pour la parole et huit styles vocaux différents.

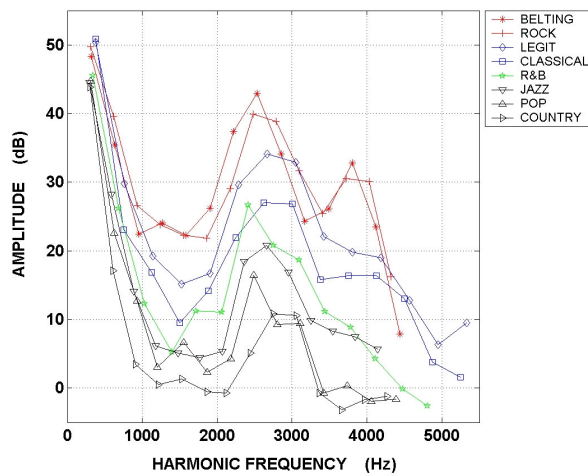


Figure 20 - Amplitude spectrale des harmoniques pour le mot "sweet" chanté.

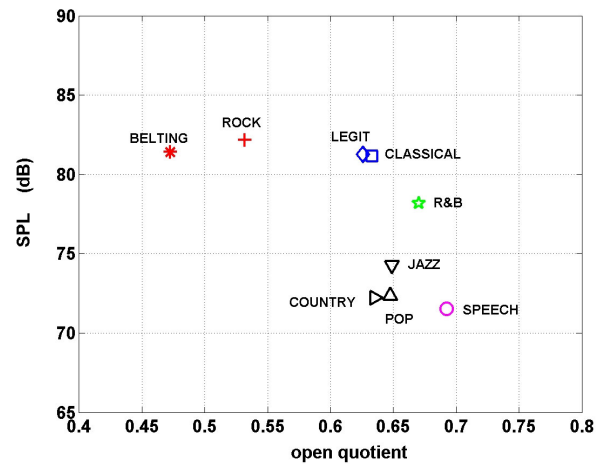


Figure 21 - Intensité vocale moyenne des différents styles vocaux en fonction du quotient ouvert.

On observe que les styles vocaux produits par cette chanteuse entraînée peuvent se regrouper en trois catégories principales :

« classical, legit », qui sont des phonations caractérisées par une intensité vocale moyenne, une fréquence fondamentale élevée, vraisemblablement liée à l'utilisation du mécanisme II, des valeurs élevées de quotient ouvert, pas d'ornement musical sur les phrases chantées et un large vibrato ;

« rock, belting », des productions vocales de forte intensité, présentant un contenu spectral très riche en haute fréquence, des valeurs très faibles de quotient ouvert, pas d'ornement musical et un large vibrato ;

« pop, jazz, R&B, country », qui correspondent à des phonations de faible intensité ou présentant de larges variations au sein de la phrase musicale, avec de larges variations de fréquence fondamentale et de quotient ouvert, peu de vibrato, peu d'énergie spectrale au-dessus de 4 kHz. Ces quatre styles diffèrent principalement en raison des ornements musicaux qui sont improvisés par la chanteuse.

### 1.5.7 Atelier Voix Chantée.

Cet atelier a été initié par N. Henrich en 1998. Il regroupe mensuellement un petit nombre de chercheurs et de professionnels de la voix, qui portent tous un intérêt particulier à la voix chantée et à son étude. L'atelier est pensé comme un groupe de travail, plutôt qu'une conférence : les participants sont activement engagés dans une recherche autour du thème de l'atelier et les présentations sont informelles.

La motivation directe d'un tel atelier est de croiser les savoirs. La spécialisation nous pousse en effet à aborder la voix chantée d'un point de vue unique (celui de la production, du



traitement du signal, de l'activité musculaire, de la perception, du chanteur, du musicien ...), qui peut et doit s'enrichir par l'échange.

Trois thèmes majeurs ont été abordés jusqu'à présent :

**Modèles et synthèse** : les présentations et les discussions ont porté sur la synthèse par modèle de signaux et la synthèse par modèle physique.

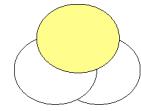
**Mesures exploratoires** : les méthodes exploratoires telles l'électroglottographie, la mesure temps-réel de l'impédance acoustique du conduit vocal, la mesure de l'efficacité vocale et de la pression sous-glottique ont été présentées et discutées.

**Caractérisation de la voix chantée** : sous cette dernière thématique ont été regroupées des études ciblées, comme le chant des pygmées, la notion de couverture, de registre vocal, l'aigu, les voix d'enfants, le formant du chanteur, la voix mixte...

Un compte-rendu succinct de ces ateliers est disponible en ligne sur le site <http://www.lam.jussieu.fr/voix>



## 2 - QUALITE SONORE ET ENVIRONNEMENT



Ce thème reflète les recherches menées au laboratoire par M. Castellengo et J.-D. Polack, en collaboration avec le LCPE. L'intégration de cette équipe au laboratoire nous a conduit à redéfinir ce thème sous le titre "perception et cognition" tel qu'il apparaît dans la partie Projets du rapport.

(Le bilan des recherches effectuées par l'équipe LCPE avant son arrivée au LAM en janvier 2003 est présenté séparément en annexe.)

### 2.1 Environnement sonore

Le financement de ces thèses a été obtenu en répondant à des appels d'offre du Ministère de l'Environnement, du CNRS (PIR Villes), et enfin du programme PREDIT, ce qui explique que ces recherches ont concerné l'environnement externe - le bruit dans la ville - et non la musique.

Aujourd'hui, la méthodologie est bien en place. Elle consiste à évaluer les productions langagières de sujets humains sur le bruit pour repérer le statut cognitif de l'environnement sonore. C'est ainsi que nous avons mis en évidence (thèse de V. Maffiolo, 1999) que l'environnement sonore est constitué de sources identifiables, qui sont décrites par l'effet qu'elles produisent sur le sujet ; ce n'est que lorsque la scène sonore est dépourvue de sources que les sujets la décrivent par des paramètres physiques (temps, durée, hauteur, intensité) et parlent alors de sons. C'est le cadre de référence des deux thèses présentées ci-dessous.

#### 2.1.1 *Perception de l'ambiance sonore et évaluation du confort acoustique dans les trains*

M. Mzali, D. Dubois, J.D. Polack; coll. F. Letourneaux et F. Poisson,  
SNCF, P. Cheminée

L'objectif principal de ce travail, réalisé dans le cadre d'un contrat PREDIT, consistait à mettre en place une méthodologie pour évaluer le confort acoustique dans les trains. Fidèle à la méthodologie développée au LAM, c'est le point de vue du passager qui nous intéressait.

La méthodologie se décline en trois étapes. La première concerne l'étude de la représentation de l'ambiance sonore dans les trains pour les passagers. La langue est utilisée

comme moyen d'accès aux représentations mentales, par le biais de questionnaires semi-directifs qui recueillent le jugement des passagers. La seconde étape consiste à corrélérer la perception des passagers avec l'étude physique des phénomènes. Données perceptives et mesures acoustiques ont été recueillies simultanément au cours d'un voyage d'essai. Leur analyse conjointe fournit des hypothèses sur cette corrélation, qui ont été validées au moyen de tests d'écoute en laboratoire. La troisième étape conduit, par assemblage des deux précédentes, à proposer une méthode d'évaluation du confort acoustique. La description de l'ambiance sonore par les passagers conditionne la structure des indicateurs d'évaluation du confort acoustique, en tenant compte notamment du traitement cognitif et des aspects sémantiques des objets perçus : les passagers identifient des classes de sources, et il est nécessaire d'associer un indicateur à chacune d'entre elle. L'ensemble des indicateurs fournit ainsi une évaluation du confort acoustique.

Ce travail confirme le statut particulier des sources de bruit, qui sont perçues par leur effet, c'est-à-dire leur signification pour le sujet. C'est ainsi que les bruits liés au fonctionnement du train sont désagréables, alors que ceux liés aux autres voyageurs sont gênants (figure ci-dessous). Bien plus, un même bruit peut être gênant ou seulement désagréable selon le contexte. C'est le cas des portes automatiques à l'intérieur des TGV, dont le bruit est normalement désagréable, mais devient gênant quand il est associé au passage des autres voyageurs.

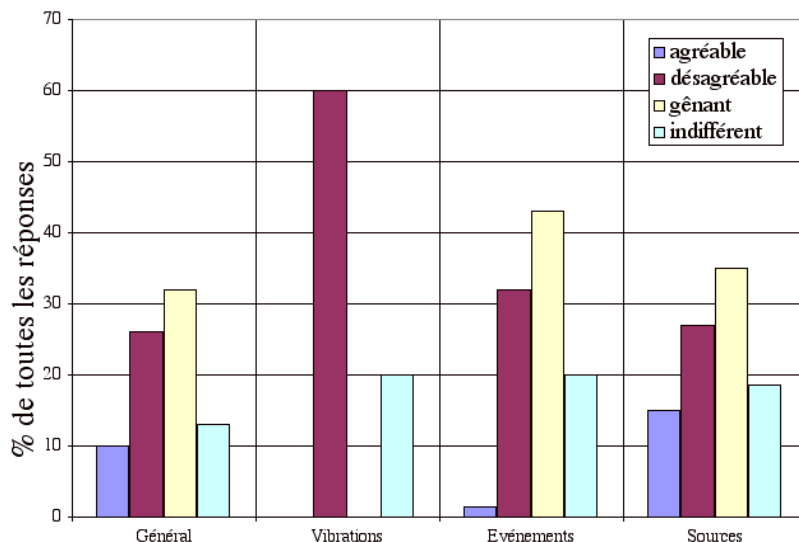


Figure 22

M.Mzali a soutenu sa thèse (CIFRE SNCF dans le cadre du PREDIT) le 2002, qui a fait l'objet de 3 publications à congrès avec actes. Elle est actuellement embauchée à la Direction de la Recherche de la SNCF, où elle y supervise la thèse de G. Delepaut (cf. annexe).

### 2.1.2 Perception des basses fréquences dans l'environnement urbain

C. Guastavino, D. Dubois, J.D. Polack ; coll. Ch. Arras, L. Droin, Acouphen, P. Cheminée

L'objectif principal de ce travail, réalisé dans le cadre d'un autre contrat PREDIT, consistait à identifier les représentations cognitives des basses fréquences et à mettre en place

une méthodologie pour évaluer la perception des basses fréquences liées aux transports dans l'environnement urbain. Comme précédemment, c'est le point de vue de l'utilisateur de la ville qui nous intéressait.

Les thèses de V. Maffiolo et C. Vogel, soutenues en 1999, avaient permis de développer une technique de prise et restitution sonore qui respectait le critère de « validité écologique », c'est-à-dire telle que les séquences sonores enregistrées conservent leur signification d'origine lors de la restitution. Mais il fallait vérifier que cette technique était également valable pour les basses fréquences, à l'origine de paradoxes de perception bien connus en acoustique des salles.

Par le biais de questionnaires semi-directifs, une enquête a recueilli le jugement des usagers de la ville. Elle a confirmé que l'environnement sonore est constitué de sources identifiables, mais que celles-ci se détachent d'un fond sonore. Les sources sont bien décrites par l'effet qu'elles produisent sur le sujet (sources de bruit). Mais le fond sonore, appelé le plus souvent bruit de fond, résiste à toute identification en terme de source : il est décrit par des paramètres physiques (temps, durée, hauteur, intensité). Par contre, le même questionnaire a montré que notre technique de prise et restitution du son ne permettait pas de capter le bruit de fond.

Ce questionnaire a donc été utilisé pour évaluer d'autres techniques de prise et restitution du son (cf. thème 3). C'est la technique Ambisonics que Catherine Guastavino a retenue. Il est alors devenu possible de reproduire les aspects cognitifs du bruit de fond (figure ci-dessous) et de prouver son ambiguïté perceptive, puisqu'il tient à la fois du bruit en étant décrit par son effet sur le sujet, et du son en étant décrit en termes physiques.

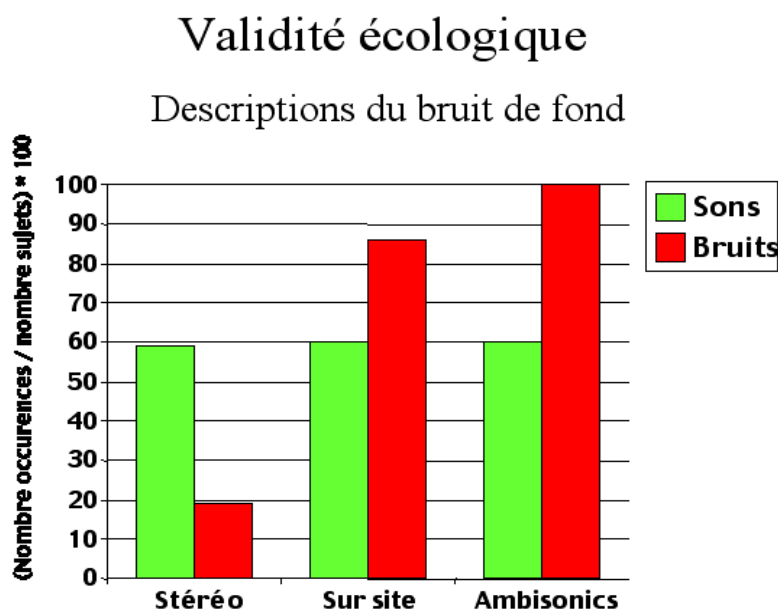


Figure 23 - Fréquence des descripteurs du bruit de fond en terme de sons ou de bruit.

C. Guastavino a soutenu sa thèse (MENRT dans le cadre du PREDIT) le 16 janvier 2003, qui a fait l'objet de 3 publications à congrès avec actes.

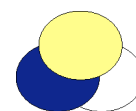
### 2.1.3 *Approche interactive des ambiances sonores urbaines (C. Vogel)*

Il s'agit d'un projet du MENRT, pour lequel le laboratoire a reçu un financement jeune chercheur pour un an (Corsin Vogel). Le projet concerne l'analyse de scènes sonores, et vient compléter la thèse de Corsin Vogel en lui donnant une dimension narrative : déterminer l'influence des schémas narratifs que tout sujet apprend à l'école dès son plus jeune âge sur la compréhension d'une scène sonore simulée. L'application visée est la présentation de projet architecturaux urbains. Tout un réseau de partenaires se constitue autour de ce projet : LCPE/LAM, CERMA, INRETS.

A plus long terme, nous espérons étendre cette approche à la simulation audio-visuelle, en vue d'applications multimédias et de réalités virtuelles.

## **2.2 Étude de la qualité sonore des instruments de musique à cordes**

L'objectif de ce programme de recherche est de confronter des données perceptives telles que les musiciens ou les luthiers peuvent les formuler avec des mesures physiques sur les instruments de musique. Il s'agit d'identifier des descripteurs verbaux avec des descripteurs physiques. Pour être complète la méthodologie doit permettre de tester perceptivement des hypothèses. Cette démarche qui part de ce qui est perçu, doit pouvoir valider ses modèles et ses analyses par une confrontation active entre la synthèse sonore, issue des modélisations, et les signaux naturels (test de validité écologique). Du fait de son caractère pluridisciplinaire, une telle opération de recherche n'est possible que parce que des collaborations au sein du laboratoire mais aussi et surtout à l'extérieur du laboratoire ont fourni les compétences que nous ne possédons pas.



### *2.2.1 Étude des attributs perceptifs d'un ensemble de pianos*

Ch. Besnainou, D. Dubois, M. Castellengo, S. Busson - DEA LeMans, coll.  
J. Morfin - responsable des pianos au CNSMDP

Ce travail s'inscrit dans une étude qui a comme objectif de relier les qualités sonores des pianos au fonctionnement vibratoire de leur table d'harmonie. Il faut donc au préalable caractériser les qualités sonores de l'instrument piano. Plus précisément, il s'agissait d'élaborer un protocole expérimental de tests perceptifs destiné à évaluer la qualité sonore en termes d'appréciation qualitative de l'instrument que seul un auditeur peut porter. Une collaboration entre le LAM et le CNSMDP a permis de rassembler un ensemble de 9 pianos d'études d'excellente qualité dans un même lieu (pianos demi-queue de 9 marques différentes).

Nous avons demandé à 17 professionnels du piano (concertiste, professeurs, facteurs et étudiants) de verbaliser librement leurs jugements après avoir évalué les qualités sonores des 9 pianos au cours d'une séance d'une heure. Sylvain Busson a collecté un corpus des verbalisations libres des sujets extrêmement riche de 93 pages dactylographiées. La tâche se divisait en deux temps. Une première phase d'évaluation des pianos un à un puis une phase de catégorisation libre portant sur l'ensemble des instruments.

La théorie de la catégorisation a permis, grâce à l'identification de proximité entre objets, un accès aux représentations mentales. Les données issues des tests de catégorisation sont des groupements de pianos, caractérisés verbalement, formés par les sujets. L'objectif est d'avoir une représentation des pianos par groupements, comme moyenne des groupements formés par les sujets. L'analyse arborée a été utilisée pour traiter les données.

L'analyse des commentaires verbaux associés à la tâche de catégorisation a mis en évidence quatre catégories sémantiques de descripteurs verbaux qui sont :

le piano en général et ses réglages : « je trouve que c'est un beau piano »

les qualités sonores du piano : « ça a un son assez direct et percussif »

l'utilisation du piano : « (c'est un piano) qui offre une possibilité d'expression »

les sensations données par le clavier : « on sent que le poids des touches est imposé ».

L'analyse en "air de famille" a mis en évidence des classes de pianos caractérisées par des distributions de propriétés. Parmi ces classes, celle qui regroupe les pianos 5 et 6 a été qualifiée de « piano avec un son claquant ». Nous avons pu identifier, en analysant les sons correspondants, la zone du spectre responsable de cet attribut ; à l'aide du logiciel "AudioSculpt" nous avons atténué cette zone spectrale après resynthèse et ainsi fait disparaître le caractère "claquant". Par ailleurs, le facteur de piano qui travaille avec nous est capable de modifier le réglage de la mécanique de la touche de piano pour le faire disparaître.

Le travail se poursuit dans le cadre du projet "Piano" (cf. projets de recherches).

### 2.2.2 *Étude du rôle de l'action dans la perception auditive*

D. Glowinski - PFE CNSMDP, D. Dubois, M. Castellengo, Ch. Besnainou

Dans cette étude nous proposons de mener une enquête épistémologique sur les théories contemporaines de la perception auditive. On souhaite analyser si ces théories montrent que l'action a un rôle dans la perception du son et, lorsque c'est le cas, on désire déterminer de quelle manière ces théories en rendent compte, en particulier sur la question du timbre instrumental. Nous considérons ici l'action comme l'ensemble des mouvements que l'on projette de faire ou que l'on réalise pour localiser et atteindre une source sonore ou bien pour créer un son.

Nous pensons que la motricité, considérée comme le support physique de nos actions, est intimement liée à la perception. Mais comment peut-on mesurer les influences perceptives de la motricité? En testant les réactions de sujets dans une expérience paradoxale nous espérons obtenir des informations. Le premier résultat de ce travail a été d'imaginer le protocole suivant :

L'action produite fait varier un des paramètres du son entre une valeur minimum et une valeur maximum : l'intensité (dB) et/ou la hauteur (Hz) par exemple. L'action : il peut s'agir de la pression du pied sur une pédale ou du basculement par la main d'une manette. La force exercée sur le dispositif varie pendant une durée choisie entre une valeur minimum et une valeur maximum.

1<sup>ère</sup> étape : établir une corrélation entre les deux variations étudiées –variation de la pression et variation acoustique (« calibrage ») .

Consigne : « essayer d'atteindre un certain niveau d'intensité ou de hauteur (de manière progressive) » On définit ainsi une visée qui donne sens à l'action entreprise.

On utilise une fonction de transfert linéaire entre l'action produite et le son entendu.

On étudie les deux courbes (action et son) et on calcule leur quotient pour voir si le résultat donne une constante  $k$ .

2<sup>ème</sup> étape : analyser les stratégies d'adaptation motrice

Même consigne qu'à la 1<sup>ère</sup> étape



Utilisation d'une fonction de transfert non-linéaire entre l'action produite et le son entendu. Cette fonction modifie la loi selon laquelle le changement d'état de l'action modifie le changement d'état du phénomène produit.

On étudie les deux courbes (action et son), on analyse leur trajectoire puis on les compare. Nous devons encore définir les critères de cette comparaison. Nous voulons saisir comment le sujet organise son action dans le temps pour faire évoluer l'intensité (par ex.) de manière progressive dans une situation plus complexe : le son produit ne varie plus de manière linéaire par rapport à l'action entreprise.



### 2.2.3 *L'AtelierPiano*

C. Besnainou, coordonateur

#### - Présentation

Ce projet a été sélectionné pour un BQR (20 000 euros) par l'Université P&M Curie avec la mention suivante : "*Le Comité encourage au sein de l'Université ce type de recherche atypique*"; son objectif est de rassembler et d'utiliser toutes les connaissances sur la qualité sonore, la lutherie, la modélisation du fonctionnement dans un cas concret, il a pour titre : "*Optimisation des paramètres mécaniques de la facture de piano en relation avec les attributs perceptifs de la qualité sonore selon plusieurs points de vue esthétiques*".

En collaboration avec les laboratoires et équipes impliquées

*UFR de Mécanique :*

Laboratoire d'Acoustique Musicale (LAM)

Laboratoire en Modélisation Mécanique (LMM)

Laboratoire de Mécanique et de Technologie (LMT-Cachan)

*UFR d'Informatique*

Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6)

*Collaborations extérieures à l'UPMC*

Laboratoire de Recherche en Informatique, Université Paris-Sud (LRI)

Laboratoire de Dynamique Appliquée, Instituto Tecnológico Nuclear (ITN/LDA), Portugal

*Composition du groupe de recherche*

- José Antunes (DR), (ITN/LDA, Portugal), optimisation vibratoire
- Charles Besnainou (IR), matériaux composites, contrôle actif, coordination du projet
- Michèle Castellengo (DR), (LAM), acoustique, analyse perceptive des sons
- Vincent Corruble (CR), (LIP6, Paris6), intelligence artificielle
- Laurent Daudet (MdC, L.AM), traitement du signal
- Danièle Dubois (DR), (LCPE), analyse psycholinguistique des tests perceptifs
- Marc François (Prof. ag.), (LMT-Cachan), caractérisation des matériaux
- Joël Frelat (CR), (LMM), modélisation de savoir-faire artisanaux
- Éric Marendas, accordeur-réparateur de piano, facture, savoir-faire et mesures
- Pascal Ray, (IE, LMM), modélisation visco-élastiques
- Michèle Sebag (CR), intelligence artificielle et optimisation globale (LRI, Orsay)

### -Objectifs et description

Cet atelier a pour ambition de mettre en relation les jugements d'experts (musiciens) sur les qualités sonores d'un ensemble d'instruments avec, d'une part les modélisations physiques du fonctionnement de la table de l'instrument et, d'autre part, les résultats de synthèses sonores issues de ces modélisations. Ceci, afin d'extraire, à l'aide de méthodes d'optimisation mises en œuvre en intelligence artificielle, les paramètres mécaniques pertinents de la structure acoustique d'un piano aux qualités prédéterminées.

L'analyse psycholinguistique permet de catégoriser les jugements de musiciens sur un ensemble de huit instruments de concert. Les "descripteurs" issus, d'une part, de cette catégorisation et, d'autre part, ceux qui sont extraits de la caractérisation des matériaux (bois), de la modélisation mécanique des gestes du facteur (mise en précontrainte, enveloppe spectrale liée aux barrages, mécanique des marteaux, mesures vibro-acoustiques...) sont classés par les techniques de l'intelligence artificielle pour créer des modèles physiques qui répondent aux catégorisations perceptives. De ces modèles physiques (testés et validés à l'aide de la synthèse sonore) sont extraits les paramètres de construction de la table d'harmonie réelle de l'instrument expérimental du LAM (table d'harmonie, marteaux, cordes, matériaux...). Il s'agira alors de réaliser (en bois ou en matériaux composites) une table qui réponde aux choix de sonorité voulus, le bouclage avec la synthèse sonore se faisant ainsi sur un instrument réel. Le résultat sonore est alors comparé aux attributs perceptifs projetés préalablement. Des innovations comme le contrôle modal de la table avec les techniques du contrôle actif seront alors envisagées et introduites dans les modèles dans une visée créatrice de nouveaux paradigmes sonores pour le piano.

### -État actuel

Depuis une année les réunions mensuelles du groupe de travail ont consisté :

1. à élaborer un projet de recherche pluridisciplinaire regroupant des spécialistes en psycholinguistique, en mécanique, en intelligence artificielle, en traitement du signal, en acoustique, en lutherie.
2. à mettre en commun des connaissances pour créer un langage et une méthode de travail. En particulier, par des séminaires spécialisés :

- Danièle Dubois : Méthodologie en sémio-acoustique
- Michèle Sebag : La fouille de données
- Claire Simmonet : Visco-élasticité des vernis
- José Antunes : Optimisation de forme pour un spectre donné ; Synthèse sonore
- Charles Besnainou : Descripteurs perceptifs, descripteurs mécaniques : l'exemple des matériaux composites
- Danièle Dubois & Pascale Cheminée : Un exemple de traitement psycholinguistique

### 3. à proposer des sujets de stages

Grâce à une subvention de recherche accordée par le Ministère de la Culture (50 000 F), le projet a débuté par l'achat d'un piano quart-de-queue. La restauration en a été entreprise afin que l'instrument réponde aux besoins expérimentaux : qualités sonores maximales et dispositif de charge variable des cordes. Plusieurs stages d'étudiants de divers niveaux ont déjà fourni des résultats, dont :

-1999 DEA-ATIAM "*Étude Préliminaire au Rayonnement d'une Plaque Précontrainte*", Vincent Maurel, encadrement J. Frelat.

-2001 DEA-ATIAM "*Étude des Non-linéarités du Corps Sonore des Instruments à Cordes*", François-Xavier Féron, encadrement C. Besnainou.

-2002 DEA-Acoustique, Université du MAINE "*Analyse des attributs perceptifs d'un ensemble de pianos de concert*", Sylvain Busson, encadrement D. Dubois.

-2003 Stage de Maîtrise, Université Denis Diderot Paris7 "*Modélisation mécanique d'une vihuela*" Adrien Mamou-Mani, encadrement : J. Frelat & Ch. Besnainou

### Publications concernant l'atelier

-2001, congrès ISMA2001, "Modal Effective Mass versus Prestress on a Piano Sound Board : Modelling Know-How of Piano Makers Skill", C. Besnainou, J. Frelat

-2001, congrès ISMA2001, "The Sound Qualities of String Instruments : a New Approach by Body's Non-Linearities", C. Besnainou, V. Gibiat, J. Frelat, J. Curtin

-2002, 6<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique, "Comportement Non-Linéaire d'une Table de Piano Soumise à une Précontrainte" C. Lacroix, J. Frelat, C. Besnainou

-2002, 6<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique, "Evaluer le Comportement Non-Linéaire d'un Instrument de Musique : Problèmes Rencontrés et Méthodes Misent en Œuvre", F. Durant, C. Besnainou

-2002, 6<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique, "Conception Optimale d'Instruments à Percussion : 1- Stratégies d'Optimisation Topologiques, 2- Synthèse Sonore par Modèle Physique", J. Antunes, Luis Henriques

Article soumis à *Acta Acustica* : C. Lacroix, J. Frelat, C. Besnainou, "Non-Linear Behaviour of Piano Sound Board Under Prestress"





## 2.3 Perception et voix

Lorsque nous nous exprimons, notre attention se porte tout naturellement sur le message phonétique que nous désirons transmettre et bien rarement sur la qualité des sons que nous produisons. Pourtant, c'est par la qualité d'une voix que sont véhiculés le naturel et les émotions qui font le propre de l'être humain. De ce fait, la prise en compte de la qualité vocale devient un problème de première importance dans les systèmes de synthèse actuels utilisés pour la communication téléphonique ou pour l'information dans les lieux publics. La voix chantée constitue un support idéal pour l'étude de la qualité d'une voix, car celle-ci est maîtrisée par le chanteur. Les projets détaillés dans cette partie visent à approcher la notion de qualité vocale en combinant une approche acoustique et une approche perceptive.

### 2.3.1 *Mise en place d'un groupe d'écoute et de discussion sur la qualité vocale*

N. Henrich

La qualité vocale est un sujet d'étude vaste et difficile. Pour mieux cerner ce que ce terme définit, un groupe d'écoute et de discussion sur la qualité vocale a été mis en place, qui réunit mensuellement des chercheurs, des enseignants-chercheurs et des doctorants en acoustique, en phonétique et en linguistique, des phoniatres et des orthophonistes, des professeurs de chant et des chanteurs. Il est ressorti de ces discussions qu'il n'est pas aisé de définir la qualité vocale d'un son, car elle dépend du contexte : nous ne définirons pas de la même manière la qualité d'une voix pathologique et la qualité d'une voix dans les services de télécommunication.

Chaque projet de recherche qui suit tente donc d'approcher des aspects acoustiques, perceptifs ou sémantiques liés à une qualité vocale définie dans un cadre très précis : le chant lyrique occidental, les styles vocaux dans le chant de variété, le belting.

### 2.3.2 *Analyse linguistique des variations de qualité vocale dans le chant classique)*

M. Garnier, N. Henrich, D. Dubois, M. Castellengo, J. Poitevineau

Ce projet de recherche correspond à un stage de DEA (Maëva Garnier, DEA ATIAM, Avril-Juillet 2003).

Le but de ce projet de recherche est de comprendre comment les professeurs de chant lyrique perçoivent la qualité d'une voix et comment ils en parlent. L'approche choisie se distingue de la psychophysique, par le fait que nous effectuons nos analyses non pas sur la base de paramètres physiques isolés dont on évaluerait le jugement subjectif, mais sur l'identification des caractéristiques sémantiques exprimées dans le discours des professeurs de chant, caractéristiques sémantiques qui sont ensuite éventuellement corrélées à des paramètres physiques. Une telle démarche a été rendue possible grâce à l'étroite collaboration qui s'est établie au cours de ce stage avec l'équipe de Psycholinguistique.

Dans un premier temps, une analyse linguistique des termes associés à des variations de qualité vocale a été menée sur une base de données de 18 chanteurs classiques enregistrée au cours de la thèse de doctorat de Nathalie Henrich (2001). Il est ressorti de cette étude préliminaire que les chanteurs expriment la qualité vocale de trois manières : par rapport au timbre du son produit, par rapport au style vocal ou par une mise en avant de la technique vocale employée. Un test d'écoute a ensuite été mis en place, auquel ont participé 6 professeurs de chant expérimentés. L'analyse des verbalisations a permis d'aboutir à la mise en évidence des différents objets cognitifs entrant en jeu dans la perception de la qualité vocale de voix lyriques et à la représentation que peuvent s'en faire les producteurs (chanteurs) et les auditeurs (professeurs de chant). Enfin, nous avons commencé à explorer les critères acoustiques corrélés aux variations de qualité vocale perçues par les auditeurs. Nous avons observé que ces critères sont bien souvent liés à des processus d'écoute qui découlent des différentes attentes des auditeurs : écoute de la répartition spectrale (émergence du formant du chanteur, équilibre spectral global, souffle), écoute spécifique de la production des voyelles, ou encore écoute musicale globale (vibrato, attaques, articulations).

Un travail très conséquent a été réalisé pendant ce stage. Il va être poursuivi dans les mois à venir par l'étudiante, Maëva Garnier, qui a obtenu une bourse de l'école doctorale SMAE (Paris 6) et devrait donner lieu à plusieurs publications dans des revues et des congrès.

### *2.3.3 Perception de la hauteur. Etude par l'analyse - synthèse de problèmes singuliers.*

La hauteur sonore a eu pendant plusieurs siècles un statut privilégié dans la musique occidentale. Le développement des instruments de musique "à sons déterminés" et l'accent mis sur l'apprentissage des hauteurs dans l'éducation musicale, de même que la valorisation de "l'oreille absolue" en témoignent.

Plusieurs problèmes qui intriguent ou embarrassent musiciens et facteurs, m'ont préoccupée. Ce sont les sons multiphoniques, la hauteur perçue d'une cloche, la perception du trille vocal. Ces recherches ont toutes été menées grâce à la méthode "d'analyse-synthèse". A la différence des tests qui prennent pour point de départ des sons entièrement synthétiques, il s'agit de partir de sons réels numérisés, ayant gardé leur complexité, et de tester des hypothèses perceptives en effectuant des transformations bien précises lors de la resynthèse. Depuis le développement du logiciel Audiosculpt (IRCAM), la méthode d'étude par analyse synthèse est devenue très aisée. Elle nous a permis d'expliquer la mystérieuse "cinquième voix" des polyphonies sardes.

#### 2.3.3.1 La quintina des polyphonies Sardes : un fondamental virtuel formantique.

M. Castellengo, collaboration B. Lortat-Jacob et G. Léothaud

B. Lortat-Jacob, ethnomusicologue, a effectué une étude approfondie d'un ensemble de chants polyphoniques sardes pratiqués dans le village de Castelsardo, qui présentent une curiosité acoustique restée énigmatique pendant plusieurs années. Lorsque les chanteurs, au nombre de quatre, sont en bon accord, une cinquième voix se fait entendre, plus aiguë. Nous avons pu montrer, en utilisant l'analyse synthèse du programme Audiosculpt de l'Ircam, que cette voix "féminine" clairement perceptible, dont la hauteur est notée en ronde sur la figure, disparaissait dès que l'on supprimait deux composantes du spectre, F1 et F2.

L'explication perceptive du phénomène repose sur les faits suivants.

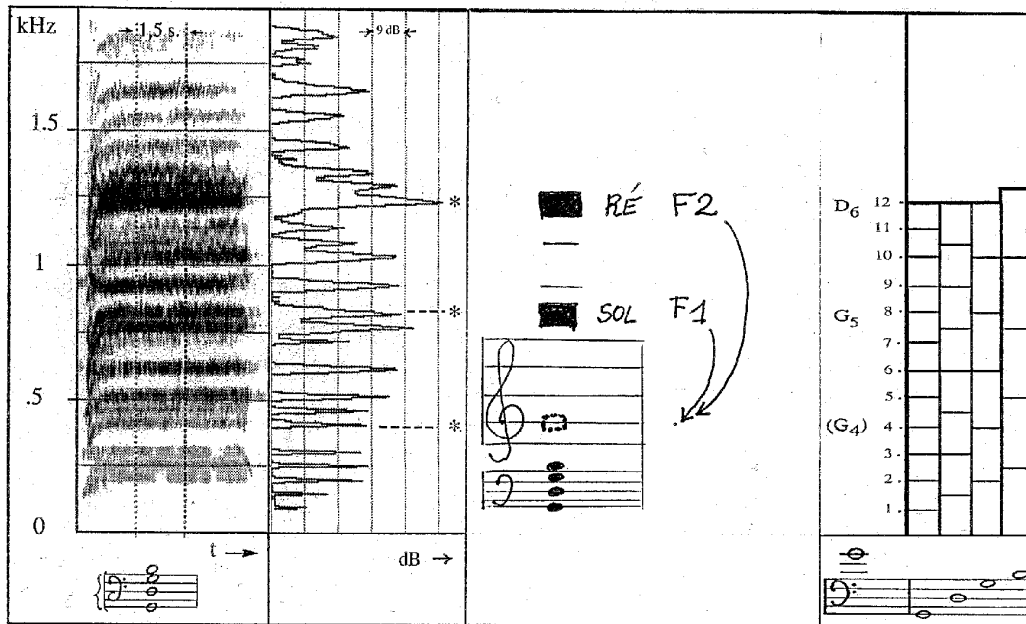


Figure 24 - Analyse d'un accord chanté; de gauche à droite : sonagramme, spectre, notation musicale, harmoniques communs. La note Sol de la quinta (ronde) est perçue comme fondamentale des sons Sol et Ré qui sont respectivement les formants F1 et F2 de la voyelle /o/.

Les deux composantes responsables de la cinquième voix (sol et ré) sur la figure, constituent les harmoniques 2 et 3 de cette voix. Il s'agit donc d'une hauteur fondamentale virtuelle ("virtual pitch" de Plomp).

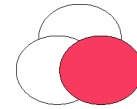
La forte prégnance de ces deux composantes responsables de la hauteur perçue tient au fait qu'elles sont situées dans la zone dominante déjà signalée par Plomp (400-1500 Hz) et qu'elles ont une grande intensité. Nous avons montré que leur intensité résulte de l'ajustement soigneux des deux premiers formants vocaliques (voyelles A et O ouvert), ajustement opéré par les chanteurs dans une pratique d'écoute extrêmement concentrée.

Le plus étonnant de cette recherche fut de découvrir que, dans la complexité du spectre acoustique d'un chant polyphonique à quatre parties produisant plusieurs dizaines d'harmoniques, 2 composantes seulement, bien placées, suffisaient à donner la sensation claire d'une cinquième voix.





## **3 - TECHNIQUES AUDIO**



Ce thème regroupe l'activité du laboratoire consacrée à la conservation des enregistrements sonores et à la prise et restitution du son. Cette activité se caractérise par le fait que les objets qu'elle étudie – CD, DVD, haut-parleurs – n'ont pas de sens par eux-mêmes, mais seulement en référence à une réalité dont ils sont les médias ou les supports. En effet, contrairement aux instruments de musique ou à la voix qui produisent directement des sons caractéristiques qui permettent de les identifier, les haut-parleurs sont des sources sonores transparentes qui doivent s'effacer devant les sources qu'ils reproduisent. Il en est de même pour les supports d'enregistrement qui s'effacent devant la musique, la voix ou les bruits qu'ils permettent de reproduire.

Cette activité se caractérise également par son caractère technologique, qui repose en partie sur un savoir-faire en traitement du signal, et en partie sur une modélisation mécanique poussée.

### **3.1 Conservation et traitement des enregistrements**

#### *3.1.1 Conservation des mémoires optiques DVD et DVD-R*

J.M. Fontaine et collaborations externes

Parmi les différents supports destinés à assurer la sauvegarde et la pérennité des enregistrements numérisés, les disques optiques enregistrables jouent un rôle considérable. Lorsque la décision de transférer des données sur de tels supports est prise, en particulier celles provenant de collections d'enregistrement sonores d'importance patrimoniale, il faut s'entourer de garanties. Produits de très large diffusion, assurés d'une durée de vie industrielle exceptionnellement longue pour des supports de données informatiques, les disques de type CD-R et DVD-R nécessitent des études destinées à préciser les conditions optimales d'inscription de l'information d'une part, le comportement à long terme des données gravées d'autre part. Des outils d'analyses des propriétés mécaniques, optiques et physico-chimiques aussi performants que complexes ont été développés pour qualifier les process de fabrication.

Les premières phases ont consisté à :

- repérer et qualifier quels systèmes de mesures permettaient de recueillir les éléments de diagnostic pertinents de l'état des disques dans des conditions reconnues par la profession (outil de référence des fabricants).
- procéder à l'acquisition d'un système (procédure d'appel d'offres, Ministère de la Culture - MRT) et à sa mise en oeuvre qui impliquait une formation spécifique.

- initier une étude expérimentale sur la dégradation de disques DVD-R placés dans des conditions climatiques hostiles : quantification et estimation de la cinétique d'évolution des paramètres mesurés.

Ces travaux ont été menés en partie dans le cadre d'un Programme collectif de recherche (PCR) initié et financé par la MRT (MCC) sur 3 ans, le LAM ayant pour partenaire le CRCDG (Laboratoire de recherche sur la conservation des documents graphiques) et le LNE (Laboratoire national d'essais).

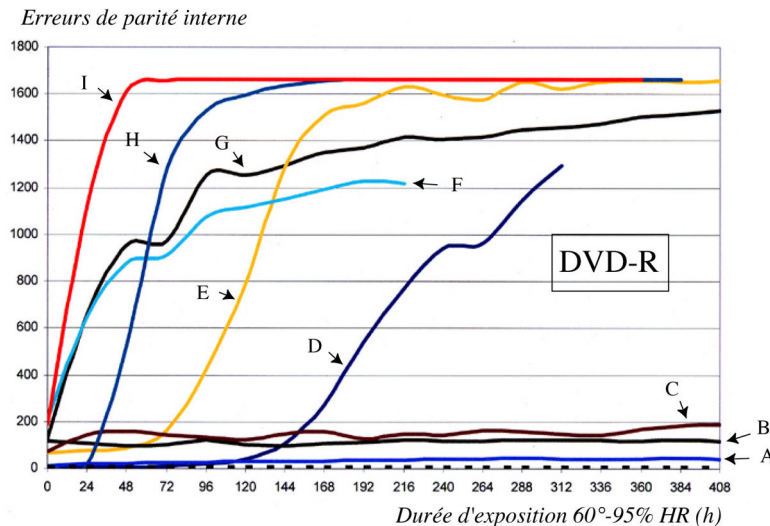


Figure 25 - Les disques optiques enregistrables, soumis à des conditions environnementales sévères, révèlent des comportements extrêmement variables. Les études de qualité et de vieillissement peuvent être abordées dès lors que l'on accède aux paramètres. L'interprétation des évolutions ouvre les perspectives d'étude de vieillissement naturel.

### 3.1.2 Evaluation de l'efficacité d'algorithmes de traitements de restauration sonore

J.M.Fontaine, L. Daudet

Les altérations du message sonore provoquées par l'insuffisance des conditions d'enregistrement (époque analogique) et la dégradation du support peuvent être traitées avec des dispositifs qui, bien que de plus en plus performants, rencontrent toujours des limites. Mais les principales difficultés proviennent du choix du traitement à effectuer. Toutes les interrogations se posent quant à la restitution des éléments "essentiels" de l'œuvre qui doit compter sur les savoir-faire techniques et artistiques des opérateurs. Dans le cadre de rééditions d'enregistrements anciens, les traitements du son ayant pour objectif d'améliorer la qualité d'un enregistrement (sur des critères que chacun peut discuter) comportent des opérations issues de l'appréciation de quelques individus à l'adresse d'une écoute collective. Il conviendra d'aborder ainsi la question de la manière dont les traitements proposés sont effectivement appréciés par les auditeurs.

Dans une première phase, il convenait d'établir un recensement des fonctions de débruitage et des paramétrages d'un système largement répandu (No Noise implanté dans une station de mastering Sonic Solutions) : traitement des transitoires et du bruit large bande.

Dans le cadre d'un stage BTS les fonctions ont été appelées et paramétrées systématiquement sur des séquences sonores fortement dégradées. Une approche perceptive des différents traitements proposés est envisagée.

### *3.1.3 Numérisation de fonds d'enregistrements sonores relevant du Ministère de la culture et de la communication*

J.M. Fontaine ; coll. A. Maulny, MRT - MCC

Ces actions s'inscrivent dans le cadre des plans de numérisation lancés par le Ministère de la Culture et étendus aux documents sonores en 1999.

Le transfert numérique de collections d'enregistrements sonores à caractère patrimonial à des fins de préservation à long terme et de valorisation (internet) implique une synthèse des connaissances particulièrement large d'un ensemble d'opérations qui concernent notamment :

- la lecture des documents sources anciens fonction de la chaîne d'enregistrement et de l'état physique du support,
- les opérations de montage, d'indexation, de traitements de débruitage le cas échéant,
- les dispositions de sauvegarde de l'information originale,
- la conversion A/N, le codage, la compression préluant à la mise sur serveur,
- le choix du support et la qualité d'inscription de l'information sur celui-ci.

Les documents transférés qui ont le plus souvent vocation à se substituer à l'original doivent être réalisés selon un mode opératoire et un contrôle de chacune des phases extrêmement rigoureux ; l'intégrité du document produit ou pour le moins sa qualité en dépend.

L'extraction des informations sonores à partir des documents originaux sur bandes magnétiques analogiques et les conditions de fixation de l'information sur supports cibles (disques optiques) ont constitué les 2 pôles sur lesquels notre attention s'est tout particulièrement portée.

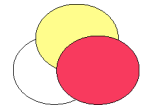
### *3.1.4 Détection acoustique d'insectes xylophages*

J.M. Fontaine, L.Daudet ; coll. D. de Reyer, LRMH, Société O1dB-Stell

Ces études s'inscrivent dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (Ministère de la Culture – Champs sur Marne) dans le but de disposer, à terme, d'un outil efficace pour lutter contre l'infestation des structures immobilières et des oeuvres patrimoniales par 2 espèces d'insectes.

La détection de la présence et de l'activité des insectes xylophages est indispensable pour déclencher la mise en oeuvre d'un traitement des structures de bois ou des mobiliers infestés. Plus précisément, la détection acoustique permet-elle d'établir ce diagnostic pour les Vrillettes et Lyctus ? Peut-on mesurer le degré d'infestation par des moyens acoustiques ? Peut-on prétendre à une identification, ou pour le moins une distinction de ces 2 espèces ?

L'étude a fait l'inventaire des systèmes existants ou en développement dans des domaines connexes en appréciant les possibilités d'adaptation pour répondre au problème posé. La pertinence du développement d'un outil spécifique fait l'objet de 2 approches : appréhension de la problématique d'identification des signatures acoustiques des espèces considérées sur des éprouvettes d'élevages, réalisation d'un indicateur d'activité.



## 3.2 Prise et restitution du son

### 3.2.1 *Prise de son et reproduction multicanal*

J. Daniel, C. Guastavino, B. Katz, J.D. Polack ; coll. J.B. Rault, CCETT

La prise et restitution stéréophonique développée au LAM par V. Maffiolo et C. Vogel s'est avérée incapable de respecter la « validité écologique » du bruit de fond urbain. Fort des apports théoriques au matricage Ambisonics développés par J. Daniel dans sa thèse au CCETT de Rennes, c'est vers cette méthode que nous nous sommes tournés pour tenter de reproduire les aspects enveloppant du bruit de fond.

La technique Ambisonics utilise un microphone à 4 capsules cardioïdes orientées selon les sommets d'un tétraèdre régulier. Cette disposition permet de décomposer le champ sonore au point du microphone selon les 4 harmoniques sphériques d'ordre 0 et 1, puis de le reproduire sur plusieurs haut-parleurs par matricage. J. Daniel a montré qu'il est préférable d'utiliser beaucoup de haut-parleurs, et c'est cet aspect que C. Guastavino et B. Katz ont testé expérimentalement.

Pour ce faire, il s'est avéré nécessaire de complètement repenser la chambre d'écoute reconstruite au LAM dans nos locaux temporaires. Le principe retenu fut de supprimer tout indice visuel en créant un environnement aussi neutre que possible : les sujets ne voient pas les haut-parleurs et ne peuvent pas en déduire la configuration de reproduction. De plus, les réflexions sur les murs sont atténuées le plus possible, si bien que les références acoustiques sont aussi gommées. Le résultat est très éloigné d'une salle d'écoute standard.



*Figures 26 - Cabine d'écoute semi-anéchoïque*

Plusieurs configurations de haut-parleurs ont été testées dans cette chambre : la stéréo classique, 6 haut-parleurs disposés dans un plan horizontal au niveau des oreilles de l'auditeur (reproduction 2D), et 12 haut-parleurs dans l'espace (reproduction 3D). Un caisson de basse peut être ajouté à ces configurations pour tester plus précisément les basses fréquences. Notons que, dans le cas de la stéréo, il est nécessaire de reproduire les réflexions sur les parois d'une salle d'écoute classique pour rendre l'écoute naturelle. Les résultats montrent que la méthode de restitution dépend fortement du contexte : la stéréo est préférée pour la musique classique, la reproduction 2D pour la majorité des scènes urbaines, et la reproduction 3D très peu souvent (concert d'orgue, intérieur de TGV).

Jérôme Daniel a soutenu sa thèse en 2000. Elle a donné lieu à des publications. Quant à la conception de la chambre d'écoute et sa validation, elle a donné lieu à une publication soumise et à conférences. Elle est partie intégrante de la thèse de Catherine Guastavino (cf. thème 2).

### *3.2.2 Optimisation de l'implantation de haut-parleurs*

S. Jeanjean, G. Pellerin, J.D. Polack ; coll. Y. Hadjee, PSA

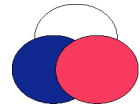
Une première thèse avec PSA s'était intéressée à la modélisation du champ sonore dans un habitacle automobile (thèse de C. Floc'h, 1999). La thèse de S. Jeanjean applique ces résultats au placement des enceintes dans une automobile.

Pour ce faire, il a d'abord fallu modéliser un haut-parleur par élément fini, pour calculer sa réponse modale et son rayonnement. Une première difficulté a consisté à obtenir auprès du constructeur les cotes du haut-parleur utilisé, puis les caractéristiques mécaniques des matériaux qui le constituent. Une deuxième difficulté a consisté à adapter les programmes éléments finis de frontière à la détermination du champ proche du haut-parleur : on se heurte en effet à un problème de singularité numérique. Il est en effet indispensable de connaître le champ proche pour déterminer la charge acoustique vue par le haut-parleur, et donc calculer le fonctionnement de celui-ci. Ces problèmes ont pu être résolus de manière satisfaisante, et permettre de comparer le champ rayonné par un haut-parleur mesuré par une tête artificielle dans un habitacle de Peugeot 607 au champ calculé.

Dans le cadre de la thèse de S. Jeanjean, G. Pellerin (DEA ATIAM, 2001) a calculé les modes propres d'une membrane de haut-parleur. Les résultats qu'il obtient suggèrent un découplage du rayonnement des modes de symétries axiales différentes et permettent de simuler des champs de pression très proche de ce qui est mesuré. C'est un point qui méritera confirmation dans l'avenir.

Enfin, J.D. Polack s'intéresse toujours à l'influence du placement d'une enceinte sur sa charge acoustique, en utilisant l'approximation semiclassique. Une première publication, réduite au calcul de la densité modale dans une salle rectangulaire, vient d'être refusée par *Acta Acustica* !

La thèse de S. Jeanjean (bourse CIFRE, PSA) est en cours de rédaction pour être soutenue en 2003. Elle a donné lieu à 1 présentation à congrès.



### 3.2.3 Emetteur de son et haut-parleur

J.P. Morckerken, G. Pellerin, J.D. Polack ; coll. Pierre-Yves Lagrée, LMM

Jean-Pierre Morckerken est arrivé au LAM en 2001 avec une subvention du Ministère de la Culture et l'idée d'adapter la technologie de la tuyère aux événements d'enceintes acoustiques. Apportant une approche aérodynamique au domaine acoustique, cette technologie supprime les jets et les tourbillons qui créent de la distorsion acoustique. Il devient alors possible d'augmenter le niveau de restitution sonore aux basses fréquences, et donc de diminuer le volume interne des enceintes acoustiques de type bass-reflex.

Depuis, la compréhension du système a progressé. C'est l'objet principal de la thèse de G. Pellerin (bourse MENRT), qui cherche à développer la simulation complète de l'enceinte avec la tuyère : schéma électrique équivalent pour le haut-parleur, modèle numérique 1D de propagation dans l'évent, et actuellement simulation 2D axisymétrique non-linéaire de l'écoulement dans la tuyère. En évitant le décrochage de l'écoulement sur la paroi – c'est-à-dire en supprimant les tourbillons – le profil de la tuyère permet de ralentir le flux d'air pour que toute l'énergie acoustique soit rayonnée (photo ci dessous). De cette façon, le domaine de fonctionnement linéaire de l'enceinte à faible niveau est prolongé vers des niveaux bien plus importants. Notons au passage que le rétrécissement au milieu de la tuyère est indispensable à l'accord de l'enceinte, en créant une masse acoustique qui baisse la fréquence de résonance du système.

Un effet secondaire de la tuyère, c'est d'écartier les deux orifices de rayonnement de l'enceinte. Il devient ainsi possible de réaliser des enceintes basses fréquences à rayonnement bidirectionnel (« figure de 8 ») Comme l'avait proposé Jean Kergomard il y a environ 15 ans. Cette technologie intéresse fortement l'IRCAM pour répondre à un programme européen où il est engagé.

La technologie des tuyères trouve une autre application dans le cadre d'un contrat avec la société Mercura pour diminuer l'encombrement des avertisseurs sonores de véhicules d'urgence (police, pompier, etc.). Le rôle du laboratoire est de conseiller Mercura dans ses choix technologiques, de développer un prototype, et de le tester.

Enfin, le laboratoire envisage très sérieusement la création d'une entreprise pour commercialiser les produits développés pour prouver la valeur de la technologie des tuyères. Une subvention ARITT-Laboratoire a déjà été obtenue et le projet est en phase d'évaluation par Agoranov, la pépinière d'entreprise de Paris 6.

Ce projet a fait l'objet du dépôt d'un brevet auprès de l'INPI en 2001, et d'une présentation à congrès.



*Figure 27 - Prototype de l'enceinte développée par Jean-Pierre Morkerken*



*Figure28 - Prototype 2ème génération.*





## **III - Bilan quantitatif**

*Bilan quantitatif*

## **1 - PUBLICATIONS DU LAM (2000-2003)**

### **1.1 Journaux à comité de lecture**

*Parus et à paraître :*

- BOUTILLON X. (2000), "Corde frottée sur un violon : dynamique, mouvements standard et instabilités", *Mécanique et Industrie* 1, 609-619.
- BOUTILLON X, David B.; (2002), "Assessing tuning and damping of historical carillon bells and their changes through restoration", *Applied Acoustics* 63 (8), 901-910.
- DAUDET L., SANDLER M.,; (2003), "MDCT analysis of sinusoids: exact results and applications to coding artifacts reduction", *accepté par IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*
- FABRE B., HIRSCHBERG A.; (2000) 'Physical modeling of flue instruments : a review of lumped physical models'. *Acustica Acta Acustica* Vol 86.
- FACCHINETTI M., BOUTILLON, X. and CONSTANTINESCU A., (2003), "Numerical and experimental modal analysis of the reed and pipe of a clarinet", *J. Acoust. Soc. Am.* (113).
- GIBIAT V., CASTELLENGO M., (2000), Period doubling occurrences in wind instruments musical performance. *Acta Acustica*, **86** p.746-754
- HENRICH N., d'Alessandro C., CASTELLENGO M., Doval B., (2004), "On the use of the derivative of electroglottographic signals for characterization of non-pathological voice phonation", *J. Acoust. Soc. Am.*, **115** (3)
- HENRICH N., D'ALESSANDRO C., CASTELLENGO M., Doval B., (2003), "Open quotient measurements in singing", *soumis pour publication à J. Acoust. Soc. Am.*, *Fév. 2003*.
- HENRICH N., SUNDIN G., AMBROISE D., CASTELLENGO M., D'ALESSANDRO C., DOVAL B., (2003), "Just noticeable differences of open quotient and asymmetry coefficient in singing voice", *J. of Voice*, **17** (4), p.481-494.
- MILLOT L., CUESTA C., AND VALETTE C., (2001), Experimental results when playing chromatically on a diatonic harmonica, *Acta Acustica*, Vol. **87** 262-270.
- POLACK J.D., (2001), Viscous interpretation and time domain formulation of hysteretic damping, *Acta Acustica/Acustica*, **87** 352-358.
- POLACK J.-D., CHRISTENSEN L.S., JUHL P.M., (2001), An innovative design for omnidirectional sound sources, *Acta Acustica/Acustica*, **87** 505-512
- Roubeau B., CASTELLENGO M., Bodin P., Ragot M., (2002), Phonétogramme par registre laryngé. *accepté pour publication à Folia phoniatrica*.
- SEGOUFIN C., FABRE B., VERGE M.P., HIRSCHBERG A., WIJNANDS A.P.J., (2000), 'Experimental study of the influence of the mouth geometry on sound production in a recorder-like instrument: windway length and chamfers'. *Acustica Acta Acustica*, Vol **86**.

*Soumis :*

- LACROIX C., FRELAT J., BESNAINOU C., "Non-Linear Behaviour of Piano Sound Board Under Prestress" soumis à *Acta Acustica*, (2002),
- POLACK J.-D., Semi-classical approximation of the distribution of eigenfrequencies: the case of rectangular rooms, soumis à *Acta Acustica*
- SEGOUFIN C., FABRE B., DELACOMBE L.; 'Edgetone : influence of flue channel geometry'. accepté pour paraître dans *Acta Acustica* (2002).
- VOGEL C., DUBOIS D., POLACK J.D., CASTELLENGO M.; Semioacoustic study of warning signals in two urban contexts. Soumis pour publication à *Human Performance*, Octobre 2001.

## **1.2 Communications avec actes**

- BASKIND A., POLACK J.-D., Sound power radiated by sources in diffuse field, *108th AES Convention* - Paris - fév. 2000 - preprint no 5146(N-2)
- BASKIND A., POLACK J.-D., Etude des paramètres de la réverbération en champ diffus : comparaison de trois représentations temps-fréquence, *CFA 2000* - Lausanne - sept. 2000 - 501-504
- BESNAINOU C., FRELAT J., "Modal Effective Mass versus Prestress on a Piano Sound Board: Modelling Know-How of Piano Makers Skill", *ISMA2001*
- BESNAINOU C., GIBIAT V., FRELAT J., CURTIN J., "The Sound Qualities of String Instruments: a New Approach by Body's Non-Linearities", *ISMA2001*.
- CASTELLENGO M., LORTAT-JACOB B., LEOTHAUD G., Pitch perception: five voices with four sardinian singers; *ISMA 2001*; Vol 2 p351-354.
- CASTELLENGO M., The human voice and its registers : the value of interdisciplinary collaboration - "*The first international conference on Physiology and Acoustics of Singing (PAS)*", Groningen, Netherlands, 3-5 Oct. 2002. [http:// www.med.rug.nl/pas](http://www.med.rug.nl/pas) (14 p + 13 ex. Sonores)
- CHAIGNE A., BERTAGNOLIO M., BESNAINOU C., "Tuning of xylophone bars : influence of curvature and inhomogeneities", *ISMA2001*,
- DAUDET L., SANDLER M., MDCT Analysis of Sinusoids and Applications to Coding Artifacts Reduction, *Proceedings of the 114<sup>th</sup> AES Convention*, Amsterdam, 2003.
- DAVID B., BOUTILLON X. (2000), "Rendement acoustique d'une guitare", *5<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique* Lausanne, 4 p.
- DEBUT V., MILLOT L., Time domain simulation of the diatonic harmonica, *Workshop on current research direction in computer music: Mozart european program*, Audiovisual Institute of the Pompeu Fabra University, Barcelone (Spain), November 2001, p. 143-146
- DOVAL B., D'ALESSANDRO C. and HENRICH N. (2003), The voice source as a causal/anticausal linear filter, *In proc. VOQUAL'03*, Geneva, Switzerland, Aug. 2003.
- DURAND F., GUILLAUME M., BESNAINOU C., "Evaluer les comportements non-linéaires du corps sonore d'un instrument de musique : problèmes rencontrés et méthodes mises en œuvre", *6<sup>ème</sup> CFA*, Lille 2002
- FLOC'H C., BARDOT A., POLACK J.-D., BOHINEUST X., Vibro-acoustic simulation using geometrical acoustics in the medium frequency range inside a car cavity, *InterNoise 2000* - Nice - août 2000 - 3853-3856

## Bilan quantitatif

- FABRE B., CASTELLENGO M., (2001); Experiments on mouth-tones during transients and steady-state oscillations in a flue organ pipe. *17th ICA, Roma*. [Key-note lecture]
- FONTAINE J.M., Sound recording evolution through its history, *Forum Acusticum - Sevilla 2002*
- GAILLARD P., Legros C., CASTELLENGO M., (2000) Modification de certaines caractéristiques physiques des sons de steeldrums en vue de la réalisation de tests psychoacoustiques; *5ème CFA*, Lausanne.
- GUASTAVINO C., DUBOIS D., POLACK J.-D., ARRAS C., Low frequency perception in urban soundscapes. A cognitive approach, *17th ICA - Rome - sept. 2001 - papier 4B.16.02 (2p.)*
- GUASTAVINO C., KATZ B., DUBOIS D., POLACK J.-D., C. ARRAS C., Perception of background noise in urban areas, *Proc. 1st International Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment - Nantes, France - Fév. 2002*
- HENRICH N., D'ALESSANDRO Ch., CASTELLENGO M., DOVAL B. (2000), Mesures électroglottographiques du quotient d'ouverture glottique en voix parlée et chantée. *JEP 2000*.
- HENRICH N., d'Alessandro Ch., Doval B., CASTELLENGO M. (2000), Open quotient measurements on EGG, speech and singing signals, *4th International Workshop Advances in Quantitative Laryngoscopy, Voice and Speech Research*, Jena.
- HENRICH N., d'Alessandro Ch, Doval B (2001); Spectral correlates of voice open quotient and glottal flow asymmetry; theory, limits and experimental data. *Eurospeech 2001*, Aalborg, Denmark.
- HENRICH N., Hess M., Schade G., Neubauer J., Mantay C., Kirchoff T. (2003), The transillumination technique and its applications: first results, In *proc. 6th International Conference Advances in Quantitative Laryngology, Voice and Speech Research*, Hamburg, Germany, Apr. 2003..
- HENRICH N., Roubeau B. and CASTELLENGO M. (2003), On the use of electroglottography for characterisation of the laryngeal mechanisms. In *Proc. SMAC 03*, Stockholm, Sweden.
- Lacroix C., Frelat J., BESNAINOU C., "Comportement Non-Linéaire d'une Table de Piano Soumise à une Précontrainte", *6ème CFA*, 2002
- MORKERKEN J.P., Parzy B., PELLERIN G., POLACK J.-D., Vented-box geometry and low frequency reproduction: the aerodynamical approach, *112th AES Convention - Munich - May 2002 - preprint 5522 (9p.)*
- MZALI M., DUBOIS D., POLACK J.-D., Letourneaux F., Poisson F., Auditory comfort on board of trains: passenger's point of view, *InterNoise 2000 - Nice - août 2000 - 397-402*
- MZALI M., DUBOIS D., POLACK J.-D., Letourneaux F., Poisson F., Etude de la qualité du confort acoustique dans les transports ferroviaires : analyse sémantique de questionnaires ouverts, *5ème CFA 2000 - Lausanne - sept. 2000 - 407-410*
- MZALI M., DUBOIS D., POLACK J.-D., Letourneaux F., Poisson F., Mental representation of auditory comfort inside trains: methodological and theoretical issues, *InterNoise 2001 - La Haye, Pays-Bas - août 2001 - 1691-1696*
- Pellerin G., Polack J.D. and Morkerken J.P., Finite element methods and equivalent electrical models for loudspeaker characterization, *114th AES Convention - Amsterdam - 2003 - preprint 5743 (14p.)*
- POLACK J.D., COENCA J., Calcul de la densité modale d'une cavité rectangulaire par la méthode des orbites, *5ème CFA 2000 - Lausanne - sept. 2000 - 489-492*
- SEGOUFIN C., FABRE B., THIRIA B., Experimental confrontation of linear and non-linear jet theories in recorder type instruments, *ISMA 2001*, Perugia.
- SEGOUFIN C., FABRE B., DELACOMBE L., Experimental results on the influence of channel geometry on edge-tone oscillations, *17th International I.C.A. Roma (2001)*.
- SEGOUFIN C., FABRE B., Lagree P.Y., Goorman K., Van Der Tillaart J., Estimation de profils de vitesse de jet à la lumière d'un canal, *5ème CFA*, Lausanne (1998).

### 1.3 Communications sans actes

- HENRICH N., Doval B., d'Alessandro Ch., CASTELLENGO M., (2001) Spectral effect of glottal source parameters, *Pan-European Voice Conference*, Stockholm, Aug. 2001.
- Cheveigné A. de, HENRICH N. (2002) Fundamental frequency estimation of singing voice, *ASA meeting*, Pittsburgh, June 2002.
- HENRICH N., Popeil P. (2003) Acoustical description of 8 common singing styles produced by a single female singer: preliminary results. In *Care of the Professional Voice Symposium*, Philadelphia, June 4-8, 2003.

### 1.4 Conférences invitées

- BOUTILLON X. (2000), Les instabilités vibratoires d'une corde de violon frottée par un archet, *colloque Mécamat-CNRS*, 9 p.
- BOUTILLON X. (2001), Dynamical models of piano action ", *17<sup>th</sup> ICA*, Rome, 2p.
- CASTELLENGO M. (2002), The human voice and its registers : the value of interdisciplinary collaboration - *The first international conference on Physiology and Acoustics of Singing (PAS)*, Groningen, Netherlands, 3-5 Oct. 2002.
- CASTELLENGO M., BESNAINOU CH., PIRON CH, FABRE B., (2000); Study of the acoustical quality of the organ. Comparing the instrument before and after restoration. *Göteborg international organ academy*; GOart technical session; Sweden.
- DEBUT V., MILLOT L., Time domain simulation of the diatonic harmonica, *ISMA 2001 (Italy)*, 2001, p. 51-56
- FABRE B., CASTELLENGO M., (2001), Experiments on mouth-tones during transients and steady-state oscillations in a flue organ pipe. *17th ICA*, Roma.
- Facchinetti M., BOUTILLON, X., Constantinescu A. (2000), "Application of modal analysis and synthesis of reed and pipe to numerical simulations of a clarinet ", *140th meeting of the ASA (Newport Beach, Ca, USA)*, J. Acoust. Soc. Am.108, 5 Pt. 2, 2590.
- Facchinetti M., BOUTILLON X., Constantinescu A. (2001), Modal analysis of a complete clarinet, *17th ICA Rome*, 2p.
- Facchinetti M., Constantinescu A., BOUTILLON, X. (2001), Étude modale d'une clarinette, *Colloque National en Calcul de Structures – Giens*, Mai 2001, 8 p.
- FONTAINE J.M., "Use of optical discs in digital preservation"., *SEPIA Conference - European Commission on Preservation and Access*, Helsinki - sept. 2003
- HENRICH N., d'Alessandro C., Doval B. (2002) Glottal flow models: waveforms, spectra and physical measurements, *proc. Forum Acusticum*, Sevilla, Spain, Sept. 2002.
- HENRICH N., Ternström S. and Sundberg J. (2003) Acoustical study of non-classical singing voice production. *Invited conference at Pan European Voice conference*, Graz, Austria, Aug. 2003.
- MILLOT L., AMBROISE D., From time domain simulation of diatonic harmonica, proposal of a minimal free reed model, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 111, No. 5, Pt. 2, May 2002, p. 2376
- POLACK J.-D., Akustik: fra kaos til menneskeopfattelse, Tankefulde tirsdage : *leçon inaugurale à DTU - Lyngby*, Danemark - Apr. 2000

POLACK J.-D., Psycholinguistics: an alternative approach to perception, *MIC Coloquium* - Mikroelektronik Centret, Lyngby (Denmark) - juin 2000

## 1.5 Ouvrages collectifs

CASTELLENGO M.(2002); Les sources acoustiques, in *Le livre des techniques du son*, édité par D. Mercier, 3<sup>ème</sup> édition révisée, Dunod, p.45-80

CASTELLENGO M. , Acoustique musicale, article du *Dictionnaire de la musique au 19<sup>e</sup> siècle*, sous la direction de Joël-Marie Fauquet; Sous presse, lib. A. Fayard.

FONTAINE J.M., Préserver les objets de son patrimoine. Précis de conservation préventive. in *Les documents sonores et audiovisuels*, SFIIC Ed. Mardaga. 2001.

## 1.6 Autres publications

CASTELLENGO M., (2001), Analyse acoustique du transitoire d'attaque des tuyaux à bouche. Publication trilingue : Français, Allemand, Anglais; *ISO Journal* (International Society of Organbuilders); N°s 10, 11 et 12.

FONTAINE J.M., Restauration des enregistrements sonores : les disques noirs. In *Coré - Conservation et restauration du patrimoine culturel*. N° 10 Juin 2001

FONTAINE J.M., Quel diagnostic peut-on poser pour les bandes magnétiques ? Relations entre dégradation des émulsions magnétiques avec les distorsions acoustiques constatées. *Archimedia*. Madrid 13-15 décembre 2001

FONTAINE J.M., "Le son pour le cinéma" ., in Collectif - *Guide de la conservation des films*. A paraître 2004

FONTAINE J.M., Billeaud R., "La restauration du son au cinéma" ., in *Coré*. A paraître 2003

GOORMAN K., LAGREE P.Y., SEGOUFIN C., FABRE B., 'Inviscid stability of a jet, application to sound production in a recorder' *Euromech'00*, Eindhoven, Pays-Bas (2000).

GUASTAVINO C., DUBOIS D., POLACK J.-D., ARRAS C., Etude sémantique de la perception des basses fréquences dans les bruits de transports terrestres, *Acoustique et Techniques*, Sept. 2001

HENRICH N., d'Alessandro C., CASTELLENGO M., DOVAL B., "Open quotient in speech and singing" *Notes et Documents LIMSI N° 2003-05*, 41 pp., 25 Fév. 20

POLACK J.D., VOGEL C., C. D'Alessandro C., Vu Ngoc Tuan, Dubois P., Etude acoustique de la chapelle de la Sorbonne, *Colloque Dallery* - Paris - nov. 2000 – actes publiés en 2002

SEGOUFIN C., FABRE B., HIRSCHBERG A., 'Jet visualization at the mouth of a recorder : influence of length and chamfering' *Euromech'00*, Eindhoven, Pays-Bas (2000).

## **1.7 Bases de données**

HENRICH N., Signaux audio et électroglottographiques enregistrés simultanément : 4 locuteurs (2 hommes / 2 femmes) : lecture de 3 articles de journaux avec différentes productions vocales.

HENRICH N., Signaux audio et électroglottographiques enregistrés simultanément : 18 chanteurs (formation classique) : voyelles tenues, sons filés, phrases parlées et chantées, couvrant des variations de hauteur, d'intensité et de qualité vocale. durée totale : 3h 4mn 40s

## **1.8 Normalisation (autres activités internationales)**

FONTAINE J.M., in AES standard for audio preservation and restoration - Life expectancy of information stored in recordable compact disc systems. AES38-2000

FONTAINE J.M., in Collectif. IASA - Technical Committee Recommendations for the prioritisation of transfers of analogue and digital audio contents A paraître. 2003

FONTAINE J.M., in Norme ISO TC 42/SC N 4836 I9SO / CD 18933 Imaging materials - Magnetic tape - Care and handling (2002)

## **1.9 Rapports**

CASTELLENGO M., BESNAINOU CH., POLACK J.D., BERNHARD J.Y., (2000), Etude Acoustique de l'orgue Andreas Silberman (1731) d'Ebersmunster. Rapport d'étude pour *la Direction du Patrimoine du Ministère de la Culture*; 58 p. + 7 disques CD de 74 mn.

GUASTAVINO C., POLACK J.-D., VOGEL C., DUBOIS D., Arras Ch., Drouin L., Perception des basses fréquences dans l'environnement urbain, *Rapport PREDIT* - octobre 2002

FONTAINE J.M., Programme Collectif de Recherche : Disques optiques DVD - Ministère de la Culture / MRT, LAM - LNE (Laboratoire national d'essais) - CRCDG (Centre de recherches sur la conservation des documents graphiques).

\* Rapport d'étude 2000

\* Rapport d'étude 2001

\* Rapport d'étude 2003

VOGEL C., Approche interactive des ambiances sonores urbaines. *Rapport final ACI Ville*, juin 2003 - 22 p. + 1 CD



## **1.10 Cours**

CASTELLENGO M., (2001) - Introduction à l'acoustique musicale pour les musiciens - Nouvelle rédaction du cours enseigné au Conservatoire de Musique. 260 p. + 6 CD d'exemples sonores.

POLACK J.-D., Acoustique des salles. Notes de cours, CNSMP 1998-2000 - 7 p.

Jacobsen F., POLACK J.-D., An elementary introduction to acoustics. Note no 0112, Dept. of Acoustic Technology, DTU - 2000 - 57 p.

## **1.11 Thèses**

DANIEL J., Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un domaine multimédia. Thèse de Mécanique, Université Paris 6, 2000

GAILLARD P.; Etude de la perception des transitoires d'attaque de sons de Steel-drums : particularités acoustiques, transformation par synthèse et catégorisation. Thèse de Musicologie, Université Toulouse II. 2000

GUASTAVINO C., Étude sémantique et acoustique de la perception des basses fréquences dans l'environnement sonore urbain. Thèse de Mécanique, Université Paris 6, 2002 HENRICH N., Etude de la source glottique en voix parlée et chantée : modélisation et estimation, mesures acoustiques et électroglottographiques, perception. Thèse d'Acoustique, Université Paris 6, 2001.

MZALI M., Perception de l'ambiance sonore et évaluation du confort acoustique dans les trains. Thèse de Mécanique, Université Paris 6, 2002

RIOUX V., 'Sound quality of glue organ pipes : an interdisciplinary study of the art of voicing' Thèse co-tutelle Chalmers University of Technology Göteborg (Suède) et Université Paris 6, 2001.

SEGOUFIN C., 'Production du son par interaction écoulement / résonateur acoustique : influence du système amont et application à la flûte à bec', Thèse de Mécanique, Université Paris 6, 2000.

## **1.12 Mémoires**

BARRA L., MARGUET A.-L., 'Simulation numérique des écoulements d'air dans une flûte à l'aide de la méthode de Boltzmann sur réseaux'. Mémoire de stage de fin d'études ENSAM Paris 2001.

BARTHET M., Détection acoustique d'insectes xylophages, stage de fin d'études ingénieur IST, Paris 6, 2003.

BAUME O., Détermination expérimentale du coefficient de diffusion dans la théorie de la réverbération. Stage de DEA d'Acoustique Appliquée, Université du Maine, 2003.

BEZAT M.C., "*Localisation de Sources Acoustiques*", PFE Ecole Supérieure d'Electricité, 2002.

BONGINI E., CAULKINS T., "*Étude de la Déformation d'un Violon, tester l'hypothèse Leipp*", maîtrise Mécanique, UPMC, 2002.

## *Bilan quantitatif*

- BUSSON S., "Étude des Attributs Perceptifs d'un Ensemble de Pianos", Dea Acoustique, Univ. du Maine, 2001
- CHASSOT L., GIRAUD F. : 'Étude expérimentale et simulation numérique du comportement de jets oscillants sous l'effet d'une perturbation acoustique', mémoire de fin d'études ENSAM Paris 2000.
- CHUBERRE B., Les registres et passages dans la voix chantée, Diplôme d'Etat de Docteur en Médecine, Université de Nantes. 2000
- COTE N., "Vibrato de Fréquence sur une Lame de Xylophone par Contrôle Actif", PFE IUT-Cachan, 2002
- DELACOMBE L., 'Étude expérimentale de sources aéro-acoustiques : application au son de biseau et au tuyau d'orgue', mémoire de stage de recherche ingénieur de l'Institut de Sciences et Technologie, Université Paris 6, 2001.
- DURAND F., "Non-Linearités de la Caisse d'un Instrument à Cordes", stage ENS-ULM, 2001.
- EXPERT R., Caractérisation de la voix d'alto : Etude acoustique et électroglottographique. Mémoire pour le prix d'acoustique musicale, CNSMDP, 2003.
- FAURE M., "Sonorisation de la guitare classique", PFE classe "Ingénieur du Son", CNSMDP, 2003.
- FERON F.X., "Étude des Non-Linearités d'un Oscillateur Simple", Dea-ATIAM, 2001.
- GARNIER M., Approche de la qualité vocale dans le chant lyrique : perception, verbalisation et corrélats acoustiques. DEA Atiam; Université Paris 6, 2003.
- GLOWINSKI G., "Étude du Geste dans la Perception Auditive", classe d'Acoustique, CNSMDP.
- GREISSER E., Perception des paramètres de source glottique. DEA Atiam; Université Paris 6, 2002
- GUILLAUME M., "Implémentation d'une Non-Linearité par Contrôle Actif dans un Violon", stage ENS-Cachan, 2001
- ISABEY B., Placement des enceintes dans une salle, mémoire de maîtrise de physique et applications, Université Paris 6, 2003.
- LAMOINE J., 'Étude des caractéristiques d'un jet turbulent' mémoire de maîtrise de physique théorique, Université d'Orsay, 2001.
- MACHEREY O., ' Etude expérimentale et modélisation du comportement instable d'un jet turbulent perturbé par un champ acoustique : application aux flûtes traditionnelles' mémoire de fin d'études Ecole Centrale de Nantes, 2002.
- MENARD, S., "Miroir à Retournement Temporel, application : mesures sur un violon", Dea-ATIAM, 2002.
- MERDJANI S., Estimation de fréquence dans le domaine compressé, stage de DEA MVA, ENS Cachan, 2003.
- MOLINIER N., Analyse-synthèse de la voix et application à l'étude perceptive du quotient ouvert. Stage DEA SETI, 2000
- NIKOLITSA E., La qualité d'une voix chantée avant et après une amygdalectomie; analyse acoustique, perception, fonctionnement et caractéristiques artistiques. DEA "Arts, Scène et spectacle, option musique"; Université Paris 8, 2002.
- NOUVEL C., 'Synthèse sonore de sons de flûte par modèles physique : influence de la modélisation du jet', mémoire de DEA Traitement du signal et Automatique / stage de fin d'études Supélec, (en cours) 2002.
- ROBERT J., 'Synthèse sonore de sons de flûte par modèles physiques ' mémoire de maîtrise de physique, Université Paris 6, 2001.
- DE RYCKT L., Modélisation de la flûte traversière, DEA d'Acoustique Appliquée, Université du Maine, 2003.
- SERIE E, COMBET C. "Étude des micros de guitare électrique", stage de maitrise, Univ. Orsay, ParisSud, 2000.
- SUNDIN G., Etude perceptive des paramètres de source glottique en voix chantée. Stage DEA ATIAM, 2001
- THIRIA B., 'Étude expérimentale de jets oscillants : instabilité et production acoustique' mémoire de maîtrise de Physique appliquée, Université Paris 6, 2000.
- WEISSER S., "Étude Acoustique de la Bagenä Ethiopienne", classe d'Acoustique, CNSMDP, 2003

## **2 - VALORISATION**

### **2.1 Brevets**

MORKERKEN J.P., Emetteur de son et haut-parleur, demande de brevet français déposée le 15 mai 2001  
sous le n° 01 06379

### **2.2 Information et culture scientifique et technique**

CASTELLENGO M., BESNAINOU C., "Musique et acoustique", *conférence* à l'Espace des Sciences de l'ESPCI (2002)

CASTELLENGO M., HENRICH N., Roubeau B.; "De Bouche à Oreille", *Conférence* à UPMC (Mai 2003)

CASTELLENGO M., Revue *Diapason* : Interview sur "l'oreille absolue" (2001)

CASTELLENGO M., *TV M6* : émission E = M6 "Pourquoi certains bruits nous gênent?" (2001)

CASTELLENGO M., *F. Culture* : Emission "Une pierre musicale pour Victor Segalen". Participation à une table ronde avec F. Lesure, M. Copin et F. Delalande (2001)

DAUVOIS, M., Interview pour un documentaire scientifique sur les origines de la musique préhistorique, Nippon Hoso Kyokai, tournage au LAM. (novembre 2002)

HENRICH N., Participation à "*Inspired by Nature*", film scientifique réalisé par l'European Physical Society à l'occasion de la Semaine Européenne de la Science et des Technologies (Bruxelles, nov. 2000)

La bibliographie du LCPE est listée dans l'annexe qui le concerne.

### 3 - FORMATION PAR LA RECHERCHE ET ENSEIGNEMENT

#### 3.1 Enseignement d'acoustique :

Etablissement	Libellé du cours	Enseignant	Période	Nb heures
UPMC DEA ATIAM	Psychoacoustique	M. Castellengo	depuis 1993	9h
	Acoustique des instruments de musique	B. Fabre		15h
	Ondes acoustiques et vibrations	B. Fabre	depuis 1994	21h
	Electroacoustique	J.D. Polack	depuis 2002	9h
UPMC / DEA d'Acoustique Physique	Acoustique Industrielle	J.D. Polack	2003	10h
UPMC / IST	Techniques de l'audiovisuel	B. Fabre	depuis 1993	15h
UPMC Maîtrise de Mécanique	Vibroacoustique	J.D. Polack	2002	20h
UPMC/ENS Cachan Prépa Agreg Génie Civil	Acoustique Architecturale	J.D. Polack	2003	20h
CNSMP	Classe d'Acoustique Musicale (3 années) et DFS	M. Castellengo C. Besnainou	depuis 1993	5h/heb do 20h/an
CNR Aubervilliers-La Courneuve	Acoustique Musicale et Techniques du Son	B. Fabre	depuis 1992	3h/heb do
Ecole Polytechnique	Etude Approfondie d'Acoustique (TP)	Nathalie Henrich	2002-03	24h
CNAM/ Cycle B	Acoustique des salles	J.D. Polack	depuis 1997	15h bisanuel

CNSMP = Conservatoire National Supérieur de Musique de Paris; DFS = Diplôme de Formation Supérieure

### 3.2 Autres enseignements :

Etablissement	Libellé du cours	Enseignant	Période	nb heures
UPMC/UFR Méca	mécanique solide / fluides (TD)	Laurent Daudet	2002-03	52
	mécanique des fluides (TP)	Laurent Daudet	2002-03	160
	Mécanique et Vibration (TD Lic.)	J.D. Polack	2003	38h
UPMC / IST	Télécommunications; Systèmes Electroniques,	B. Fabre	depuis 1992	env. 120h
UPMC/DEUG SCM	mécanique des fluides (cours et TP)	J.D. Polack	depuis 2002	30h
UPMC/DEUG MIAS	Informatique :Processus d'évaluation (TD et TP)	G. Pellerin	depuis 2001	64h
	Informatique, Outils et styles impératifs (TD et TP)	G. Pellerin	depuis 2001	64h

## 4 - COLLABORATIONS

### En France :

Université Pierre et Marie Curie : LMM (J. Frelat, P.Y. Lagrée), LMT (M. François)

LIMSI-CNRS, Equipe Perception Située, (Christophe d'Alessandro, Boris Doval, Vu Ngoc Tuan)

IRCAM (G. Assayag, R. Caussé, O. Warusfel)

LOA (M. Fink)

Telecom-Paris, département Signal (B. David, D. Matignon)

Laboratoire d'Ethnomusicologie, Musée de l'Homme (B. Lortat-Jacob, J. Dechamps)

Laboratoire LTE, INRETS (Jacques Beaumont)

LMA, Marseille (J. Kergomard)

Laboratoire Analyse, Topologie, Probabilités (Marseille), Equipe de traitement du signal (B. Torrèsani)

ICP, Grenoble (X. Pelorson)

## *Bilan quantitatif*

Université Paul Sabatier Toulouse (V. Gibiat)

GDR "Bruit des transports"

GEMPPM, Insa de Lyon (P. Guy)

### **A l'étranger :**

Queen Mary, University of London, Royaume-Uni : Department of Electronic Engineering, DSP & Multimedia group (M. Sander, M. Davies)

University Hospital Eppendorf, Hambourg, Allemagne : Department of Phoniatics and Pedaudiology, (M. Hess, Götz Schade)

Université de Michigan, USA (G. Weinreich)

Teschniche Universitat Eindhoven, Pays-Bas (A. Hirschberg)

Chalmers Tekniska Högskola, Goteborg, Suède (M. Kleiner)

Kungliga Tecniska Högskolan KTH Stockholm, Suède : Department of Speech Music and Hearing, Music Acoustics Group (Sten Ternström, Johan Sundberg)

Institute of Sound & Vibration Research, Southampton, Royaume-Uni : Signal Processing and Control Group (A. Barney)

### **Industrie et artisanat :**

SNCF, Direction de la Recherche (Pierre-Etienne Gautier, Sylvie Guerrand, Myriam Mzali)

PSA, Direction de la Recherche (Anne Bardot)

Bang & Olufsen A/S, Danemark (Søren Bech, Jan Abildgaard Pedersen)

Facteurs d'instruments : piano (E. Marandas), guitare, violon (J. Curtin; USA)

## 5 - CONTRATS DE RECHERCHE, VALORISATION, EXPERTISE

LISTE SYNTHETIQUE DES CONTRATS au 23/07/03

Rappel des critères de recherche: Tous les contrats

Nombre de contrats trouvés :12

<b>Début Fin</b>	<b>Type (1)</b>	<b>Objet</b>	<b>Responsable scientifique</b>	<b>Gestion- naire</b>	<b>Financier</b>	<b>Montant brut H.T. (euro)</b>
21/10/1998 21/04/2001	SUB	Etude sémantique de la perception des "basses fréquences" dans les bruits de transports terrestres	Castellengo Michèle	CNRS	Ministère de l'environnement	21 800
02/12/1998 01/12/2001	SUB	Etude des phénomènes basses fréquences à l'origine d'une gêne pour le voyageur	Polack Jean_ Dominique	UNIV. PARIS VI	Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie	34 453
03/12/1998 30/06/2000	SUB	Etude des signaux acoustiques émis par les insectes xylophages vrillettes et lyctus	Fontaine Jean_ Marc	UNIV. PARIS VI	Ministère de la culture	13 873
01/06/1999 31/05/2002	ASS	Contrat de recherche d'accompagnement d'une thèse CIFRE _ Encadrement de thèse	Polack Jean_ Dominique	UNIV. PARIS VI	PEUGEOT CITROEN	45 735
16/06/1999 15/06/2002	FORM	Contrat de coopération "CIFRE"	Polack Jean_ Dominique	UNIV. PARIS VI	SNCF	11 434
01/10/1999 30/09/2000	FORM	ENSEIGNEMENTS 99/2000	Castellengo Michèle	UNIV. PARIS VI	CNSMDP	3 506
22/11/1999 21/11/2001	SUB	Piano Composite avec Contrôle Actif des Vibrations de la Table d'Harmonie	Besnainou Charles	UNIV. PARIS VI	Ministère de la culture	7 622
16/10/2000 16/10/2002	SUB	Etude des signaux acoustiques émis par les insectes xylophages vrillette et lyctus et d'un système de détection automatique (2ème tranche).	Fontaine Jean_ Marc	UNIV. PARIS VI	Ministère de la culture	14 021

*Bilan quantitatif*

10/11/2000 30/06/2001	SUB	Numérisation sur DVD et conservation des informations	Fontaine Jean_Marc	UNIV. PARIS VI	Ministère de la culture	25 493
01/01/2001 30/06/2002	SUB	Développement d'un système de diffusion d'ondes sonores destiné à reproduire tous types de signaux d'origine acoustiques ou électroniques	Polack Jean_ Dominique	UNIV. PARIS VI	Ministère de la culture	19 119
01/10/2001 30/09/2002	SUB	Participation aux tâches d'enseignement théorique et pratique de l'Acoustique Musicale. Enseignements donnés par le Laboratoire d'Acoustique Musicale	Castellengo Michèle	UNIV. PARIS VI	CNSMDP	3 600
17/02/2003 17/08/2003	ASS	Amélioration des sirènes existantes _ Etude technologique	Polack Jean_ Dominique	UNIV. PARIS VI	Société MERCURA	40 000
02/04/2003	SUB	Optimisation des paramètres mécaniques de la facture de piano	Besnainou Charles	UNIV. PARIS VI	B.Q.R. PARIS VI	20 000
04/07/2003 03/07/2006	SUB	Sémantique et objets Sonores	Dubois Danièle	CNRS PARIS B	CNRS STIC	43 500
2003 2006	RECH	Recherches sur le confort global (accompagnement bourse CIFRE)	Dubois Danièle	UNIV. PARIS III	SNCF	18 000
2003 2006	RECH	Méthode d'analyse des composantes du confort	Dubois Danièle	CNRS PARIS B	SNCF	63 268

Montant Total :

38 5424 euros

(1) Type contrat : (ASS) contrat d'assistance technique, (FORM) contrat de formation, (RECH) contrat de recherche, (SUB) subvention autre organisme



## **6 - AUTRES ACTIVITES**

Groupe Spécialisé d'Acoustique Musicale (GSAM – SFA) : Benoît Fabre, Nathalie Henrich.

Groupe Opérationnel n° 7 du programme PREDIT III : Jean-Dominique Polack.

Conseil Scientifique "bruit" du Ministère du Développement Durable et de l'Environnement : Jean-Dominique Polack

Comité National de la Recherche : Ch. Besnainou, Membre de la Section 09.

Commission des Orgues Neufs (Ministère de la Culture) : M. Castellengo puis J.D. Polack depuis 2002

## *Projets*

## **IV - Projets**

## *Projets*

# **1 - INSTRUMENTS DE MUSIQUE ET VOIX**

Ce thème est structuré par les trois domaines de connaissances et de compétences présents dans le laboratoire :

- la connaissance physique des instruments,
- les compétences expertes des facteurs d'instruments,
- l'évaluation de la qualité musicales des instruments.

## **1.1 Instruments à vent**

### *1.1.1 Analyse et modélisation*

Benoît Fabre

Les projets liés à l'analyse et la modélisation des instruments à embouchure de flûte peuvent se décliner suivant deux directions :

#### 1.1.1.1 Etude physique du système excitateur

Il s'agit de développer notre compréhension des mécanismes physiques afin de mieux interpréter les choix de facture instrumentale.

La difficulté majeure à l'heure actuelle se trouve dans l'analyse de la perturbation du jet par le champ acoustique dû au résonateur. La description détaillée de la réceptivité devrait permettre de comprendre l'effet, que nous avons observé expérimentalement, de chanfreins ou d'un arrondi en sortie du canal de formation du jet.

Le mouvement du jet est le plus souvent décrit au moyen d'une analyse de stabilité linéaire. Les ordres de grandeurs des perturbations dans les flûtes sont tels que l'on sort probablement des hypothèses utilisées par de tels modèles. L'analyse du comportement du jet pour des amplitudes de perturbations croissantes devrait permettre d'établir les limites d'application des modèles linéaires et d'envisager des raccords vers des modèles non-linéaires (allée de tourbillon de von Karman par exemple).

Les nombres de Reynolds observés dans de nombreuses flûtes indiquent que le jet devient rapidement turbulent après sa sortie du canal. Les premiers résultats que nous avons obtenus dans l'étude expérimentale des jets turbulents justifient de poursuivre l'étude.

La modélisation des sources aéro-acoustiques doit être développée afin de décrire différentes géométries de biseau.

### 1.1.1.2 Développement de la synthèse et analyse du jeu instrumental.

Les résultats obtenus dans les études physiques (comportement du jet et des sources) doivent être progressivement implémentés dans le modèle de simulation temporelle que nous avons développé.

L'analyse des techniques de jeu instrumental permet de focaliser le travail d'analyse physique sur des points pertinents. Dans certaines techniques, il apparaît que le flûtiste favorise le déclenchement de la turbulence sur le jet afin d'empêcher l'instrument d'octavier et rester, avec un son plus intense sur le premier régime. Nous envisageons de mettre en évidence expérimentalement cette technique avant d'en faire la modélisation.

### *1.1.2 Transitoire d'attaque des tuyaux à bouche.*

M. Castellengo

La station Kay-CSL acquise récemment pour l'étude de la voix permettant d'enregistrer des signaux continus, quelques expériences de jeu musical d'instruments (flûte à bec et tuyaux d'orgues) seront reprises pour mettre en rapport de façon rigoureuse l'enregistrement de la pression dans la bouche avec l'analyse acoustique des sons de bouche du transitoire.

Par ailleurs, l'analyse de l'entretien simultané du régime normal et du son de bouche observé dans le jeu d'orgue italien viola 4' sera étendu à la flûte à bec et à la flûte traversière.

### *1.1.3 Etude comparée de la qualité des orgues avant et après restauration*

M. Castellengo, C. Besnainou, B. Katz

Le dépouillement des enregistrements effectués à Poitiers, de 1986 à 2000 fera l'objet d'un stage au cours duquel seront développés de nouveaux outils d'analyse spectrale sous Matlab ainsi que des tests perceptifs de comparaison de la sonorité.

Une nouvelle étude a été demandée au LAM pour l'orgue de la Collégiale de Dole. Il s'agit d'un cas particulièrement intéressant en raison des qualités acoustiques exceptionnelles de l'édifice. Les enduits des murs et de la voûte doivent être refaits. De plus, nous faisons l'hypothèse que la série des grands tableaux (2m x 5m) joue un rôle important dans l'atténuation des très basses fréquences, souvent gênantes dans ce genre d'édifice. Des mesures de temps de réverbération seront faites au cours de la restauration : avant et après la dépose des tableaux. L'enregistrement de l'instrument proprement dit sera fait selon le protocole habituel.

## 1.2 La voix

### 1.2.1 *Caractérisation et développement de méthodes exploratoires et des méthodes d'analyse de la voix*

N. Henrich

Une des originalités du travail déjà effectué porte sur l'utilisation des signaux électroglottographiques dérivés (DEGG) pour la détermination des instants d'ouverture et de fermeture glottique. Ces signaux ne sont quasiment pas exploités dans la littérature, par manque d'une étude permettant de les caractériser. L'analyse des signaux extraits de la base de données enregistrée au cours de la thèse montre qu'il existe de nombreux cas où les signaux DEGG présentent des dédoublements des pics d'ouverture et de fermeture. Ces dédoublements semblent traduire des particularités dans le mouvement vibratoire glottique (par exemple lors d'une transition entre mécanismes laryngés), qui ne peuvent être expliquées que si l'on peut mettre en relation ces signaux avec une visualisation simultanée du mouvement glottique.

La première partie de ce projet consiste donc à poursuivre les recherches récentes sur la technique de transillumination strobophotoglottographique, dans le but d'améliorer cette technique de visualisation du mouvement glottique et de l'appliquer à la cinématographie ultra-rapide pour caractériser la dérivée des signaux électroglottographiques et tenter de reconstruire le mouvement glottique sur l'épaisseur. La comparaison entre des images de la glotte au cours d'une même période glottique et le signal électroglottographique dérivé correspondant devrait alors permettre de caractériser les particularités observées sur ces signaux.

La seconde partie de ce projet concerne la reconstruction du mouvement glottique sur l'épaisseur. Actuellement, seule la visualisation par le dessus des cordes vocales est possible et les images ainsi fournies ne renseignent pas sur le mouvement glottique dans un plan vertical. En particulier, tant que la partie supérieure de la glotte est fermée, il n'est pas possible de savoir si la partie inférieure de la glotte est en train ou non de s'ouvrir. En ce sens, la transillumination strobophotoglottographique est une technique très prometteuse car elle permet de visualiser l'ouverture sur l'épaisseur en détectant la lumière diffusée par les tissus alors que la glotte est encore fermée. L'idée est alors d'appliquer des modèles de diffusion de la lumière à travers les tissus pour reconstruire l'épaisseur glottique à partir de la mesure de l'intensité lumineuse.

Ces recherches se font en collaboration avec l'équipe du Pr. Hess (Department of Phoniatics and Pedaudiology, University Hospital Eppendorf, Hambourg, Allemagne).

### 1.2.2 *Analyse acoustique et perceptive de productions vocales chantées particulières : La voix de Bassu du chant sarde "A Tenore"*.

N. Henrich, M. Castellengo

Ce projet porte sur la caractérisation d'une technique vocale utilisée dans le chant traditionnel "a tenore" qui se pratique encore actuellement en Sardaigne. Chacune des quatre voix du chœur est très spécifique et porte une dénomination particulière : de la voix la plus

grave à la voix la plus aigue, on trouve le *bassu*, la *contra*, la *boghe* et la *falzittu*. L'étude portera sur la voix de *Bassu* qui émet un son que l'on peut qualifier de "diphonique". Lorsque la fréquence fondamentale de la voix est 200 Hz, le son réellement entendu est à 100 Hz. Nous cherchons donc à expliquer le phénomène acoustique lié au doublement de période observé sur cette voix et à en comprendre les raisons physiologiques. Cette particularité, décrite depuis longtemps dans des voix pathologiques, se trouve exploitée à des fins musicales dans diverses cultures : Tibet, chant des Xhosa d'Afrique du Sud. Quelques auteurs font appel aux "fausses cordes vocales" pour en expliquer la production. Nous espérons fournir une interprétation complète du phénomène, en associant les mesures fournies par le DEGG et l'observation fibroscopique.

Ce projet se fait en collaboration avec Bernard Lortat-Jacob (Laboratoire d'Ethnomusicologie, Musée de l'Homme).

### *1.2.3 Analyse acoustique, perceptive et sémantique de productions vocales non-classiques*

N. Henrich

Ce thème porte sur des recherches à long terme, dont le but est de caractériser la qualité d'une voix, qu'elle soit parlée (émotions) ou chantée (classique et non-classique). Les approches acoustiques et perceptives se combinent pour permettre de mieux comprendre ce que nous percevons quand nous écoutons une voix, comment nous le percevons et comment nous l'exprimons. Les qualités vocales étudiées portent sur des productions chantées classiques (lyrique), non-classique (belting et chant de variété), et sur la parole (expression des émotions), cf. IV 2.2, et IV 2.7.

### *1.2.4 Etude aéroacoustique de l'interaction entre le mouvement vibratoire glottique et le conduit vocal*

N. Henrich, B. Fabre, Coll. A. Barney

En réponse à un appel d'offres international entre la France/CNRS et la Grande-Bretagne/Royal Society, un financement d'une période de 2 ans a été obtenu pour le LAM (Nathalie Henrich, Benoît Fabre) et l'ISVR (Southampton, Royaume-Uni - Anna Barney). Ce financement, qui couvre une période de 2 ans, va permettre le développement d'une collaboration déjà engagée sur ce projet de recherche.

La modélisation de la production vocale s'appuie sur la théorie source-filtre développée par Fant en 1960. Cette théorie a eu un impact majeur dans le domaine du traitement de la parole, du fait d'un très bon accord avec les résultats expérimentaux. Elle fut appliquée avec succès à l'analyse, à la synthèse et au codage de la parole. Une hypothèse majeure de cette théorie est l'absence de couplage entre la source acoustique et le résonateur. Alors que cette hypothèse est validée dans le cas de la parole spontanée, elle semble plus discutable dans le cas du chant ou de la parole projetée (production vocale des acteurs, par exemple). En effet, un aspect essentiel de la technique vocale lyrique et du placement vocal porte sur la recherche d'un équilibre entre le système respiratoire et l'ajustement des cavités supra-glottiques, afin d'améliorer l'efficacité vocale. Notre hypothèse de départ est donc que certaines qualités vocales proviennent du couplage entre exciteur et résonateur, que le chanteur apprend à contrôler lors de son apprentissage vocal. Comment ce couplage affecte-t-il les sources



aéroacoustiques au niveau de la glotte, le mouvement vibratoire des cordes vocales et la qualité vocale du son produit ?

Les objectifs de ce projet sont :

1.d'explorer l'effet d'un changement de l'ouverture glottique sur le couplage entre les cavités sous- et supra-glottique ;

2.d'étudier l'importance du couplage pour différentes impédances des systèmes sous et supra-glottique ;

3.de mettre en évidence la présence d'un couplage fort entre les cavités sous et supra-glottique lors de productions vocales réelles ;

4.d'explorer l'effet du couplage dans la parole projetée et dans le chant, en termes de quotient ouvert et de qualité vocale.

Les points 1) et 2) seront abordés à l' « University of Southampton », à partir d'une maquette mécanique dynamique du larynx et du conduit vocal mise en place par le Dr. Barney à l' « Institute of Sound and Vibration Research » (ISVR, EPSRC grant no. GR/M99200). Cette maquette a été conçue pour permettre une investigation fine des aspects aérodynamique et acoustique de la production d'un son voisé.

L'utilisation d'une maquette présente des avantages différents de ceux liés à l'utilisation de sujets vivants. Les mesures sont reproductibles et contrôlables, afin qu'un paramètre donné puisse être varié tout en gardant les autres paramètres constants.

Dans un premier temps, l'impédance du conduit vocal sera gardée constante et le quotient ouvert glottique, qui correspond au temps pendant lequel les cordes vocales sont ouvertes sur la période, sera varié. Les effets possibles liés à une variation de la longueur des cordes vocales ou des coefficients de réflexion acoustique des sections du conduit vocal seront explorés à quotient ouvert constant. La pression aux parois sera mesurée en divers endroits des cavités sous- et supra-glottiques. Le profil de vitesse sera mesuré par anémométrie par fil chaud en sortie des cordes vocales. Nous nous attendons à ce que le couplage acoustique se traduise par des changements de la distribution spectrale de pression aux parois. La géométrie simple de la maquette mécanique permet de développer en parallèle une modélisation théorique des distributions spectrales attendues pour chaque configuration du conduit vocal. Une comparaison entre ce que prédit la théorie et les mesures expérimentales sera ainsi effectuée.

Les points 3) et 4) seront abordés au LAM, par utilisation d'un protocole mis en place par Nathalie Henrich. Des chanteurs, acteurs et enseignants serviront de sujet pour l'étude. Depuis de nombreuses années, le Laboratoire d'Acoustique Musicale a établi des liens avec des professeurs de chant lyrique et des chanteurs du Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris dans le cadre de l'enseignement d'acoustique de Michèle Castellengo. Des collaborations sont également en place avec des professeurs de chant non-classiques, des acteurs du Conservatoire National Supérieur d'Art Dramatique (C. Pillot) et des thérapeutes de la voix (M. Faure, B. Roubeau). Grâce à l'ensemble de ces collaborations, il sera aisé de recruter des sujets pour les besoins du projet.

L'électroglottographie sera utilisée comme méthode de mesure non-invasive de l'activité glottique. Les signaux acoustiques et électroglottographiques seront enregistrés simultanément et analysés pour extraire les paramètres acoustiques intéressants pour cette étude, comme la fréquence fondamentale, l'intensité vocale, le quotient ouvert, le quotient de vitesse, la distribution en amplitude des harmoniques, le bruit, ...

Dans un premier temps, nous nous intéresserons à une production vocale particulière, pour laquelle un fort couplage entre cavités sous- et supra-glottiques est suspecté. Quand une soprano atteint le registre aigu de sa tessiture, il peut arriver que sa voix perde brutalement en intensité et en richesse spectrale. Ceci correspond au passage par une zone de transition entre deux registres résonantiels distincts. La fréquence fondamentale à laquelle a lieu ce passage dépend de la tessiture du chanteur. Elle est située entre mi<sup>4</sup> et sol<sup>4</sup> (600-800 Hz) dans le cas d'une soprano. L'hypothèse de couplage sera testée par analyse de la production vocale de chanteuses non-entraînées qui présentent cette particularité.

Dans un second temps, nous étudierons de façon plus générale la façon dont une variation de configuration du conduit vocal ou une augmentation de la pression d'air expulsé des poumons affecte l'activité glottique. La production vocale de chanteurs professionnels, acteurs et enseignants sera analysée dans le but de corrélérer l'activité glottique à des caractéristiques spectrales du son voisé produit et de les mettre en relation avec la qualité vocale perçue. En particulier, l'effet d'un changement de voyelle ou d'une augmentation de la pression sous-glottique sera étudié.

Les objectifs scientifiques de ce projet sont de mettre en relation les changements d'ouverture glottique avec un couplage acoustique entre les conduits sous- et supra-glottiques, de mettre en évidence les effets de ce couplage dans le cas de productions vocales réelles et de les étudier en terme de quotient ouvert et de qualité vocale.

Les applications directes de cette étude concernent l'amélioration de l'enseignement vocal, l'analyse et la synthèse de la voix chantée, le contrôle de la qualité vocale et la rééducation de voix pathologiques.

### *1.2.5 Mécanismes laryngés et registres résonantiels.*

#### 1.2.5.1 Caractérisation acoustique des mécanismes laryngés et techniques vocales

M. Castellengo, N. Henrich, B. Roubeau, R. Expert, E. Nikolitsa

La masse d'informations accumulées depuis une vingtaine d'années au LAM nous permet aujourd'hui d'entreprendre la rédaction de deux articles-bilan. Le premier portera sur les résultats de mesures physiologiques et acoustiques fondant l'identification des mécanismes laryngés. Le second présentera une synthèse des différentes techniques vocales exploitant les phénomènes particuliers se produisant au moment de la transition entre mécanismes.

#### 1.2.5.2 Registres résonantiels médium : les voix d'alto, la voix mixte.

La plupart des chanteurs de tradition classique n'utilisent habituellement qu'un mécanisme laryngé. Lorsqu'ils en atteignent les limites : partie supérieure du mécanisme 1 ou partie inférieure du mécanisme 2, ils développent des gestes techniques leur permettant d'adapter l'émission pour conserver le maximum de possibilités expressives ou pour effectuer une transition en douceur. Les termes techniques utilisés : couverture, voix mixte, correspondent donc à des "registres résonantiels", c'est à dire à une interaction entre la source et les cavités supra-glottiques. On comprend alors l'importance considérable accordée à la réalisation acoustique des voyelles, qui conditionnent la nature et la qualité de cette interaction.

L'étude de la voix mixte s'inscrit dans cette optique. Pour caractériser les deux types de voix mixte, en mécanisme 1 et en mécanisme 2, nous procéderons aux mesures habituelles -  $O_q$  en fonction de  $I$  et de  $F$  - ainsi qu'à la caractérisation des formants vocaliques dont l'ajustement joue un rôle majeur en voix mixte.

Nous développerons plus particulièrement l'étude des voix d'alto dont la tessiture chevauche les deux mécanismes. Contraints d'homogénéiser les qualités de la voix malgré les changements physiologiques sous-jacents, ces chanteurs ont des registres résonantiels particulièrement bien contrôlés.

L'étude amorcée en 2003 dans le cadre du Mémoire d'Acoustique Musicale de R. Expert sera poursuivie et donnera lieu à une publication.

#### 1.2.5.3 Registres résonantiels aigus : les voyelles des sopranos, le mécanisme 3

E. Nikolitsa

La premier formant des voyelles fermées (i, ou , o) se situe entre 200 et 500 Hz, ce qui correspond aux zones grave et médium de la voix de soprano. Au dessus du Do<sub>4</sub>, les chanteuses doivent donc réaliser des adaptations importantes du fait de la montée du larynx et de la nécessaire ouverture des mâchoires, de sorte que la voix développe des qualités de souplesse, de puissance tout en conservant une certaine netteté d'articulation et de justesse des voyelles. Au LAM les mesures porteront sur l'EGG et sur les fréquences des formants par émission en fry. Nous espérons bénéficier par ailleurs de la collaboration d'un service d'exploration RMN (Bruxelles), ou utiliser la technique de mesure des résonances développée par J. Wolfe (Sydney).

Les mêmes explorations permettront de poursuivre l'étude du mécanisme 3 (voix de sifflet) dont l'origine - purement glottique, ou résonantielle - est contreversée

L'étude des registres résonantiels implique la prise en compte des couplages possibles entre la source glottique et les cavités de résonance, et pourra bénéficier des résultats du projet précédent.

#### 1.2.6 *Un DVD sur la voix*

N. Henrich, J. Deschamps, M. Castellengo et div.

Le projet d'un DVD sur la voix, mis en place en 2002 à l'initiative de J. Deschamps (Ingénieur de recherches au laboratoire d'ethnomusicologie du musée de l'homme), rassemble plusieurs équipes partenaires sous la direction scientifique de N. Henrich. Les principaux thèmes abordés seront 1/ La voix : description et fonctionnement (LAM); 2/ La voix à travers le monde (Lab. D'ethnomus. du musée de l'homme et LACITO), 3/ Le développement vocal : des usages de la voix (B. Roubeau et C. Gillie Gilbert); 4/ Voix et société : approche anthropologique (C. Gillie Gilbert, M. Poizat). Actuellement en veilleuse (en raison d'un problème de santé de la responsable) le projet, qui suscite un fort enthousiasme et une très bonne synergie entre les équipes, sera réactivé dès que possible.

### 1.3 Instruments à cordes

Les études que nous entendons mener sur les instruments à cordes se font à différents niveaux. En schématisant, nous dirons qu'il y a les études de type "*top / down*", c'est-à-dire qui partent d'un point de vue global et qui cherchent à dégager des descripteurs de bas niveau, qu'il soient perceptifs ou physiques, tandis que d'autres études de type "*bottom/up*" partent au contraire de modélisations simples mais pertinentes à partir desquelles on cherche à dégager des tendances comportementales. Il s'agit bien sûr de faire converger ces deux démarches pour obtenir une compréhension élargie du fonctionnement des instruments à cordes et de l'appréciation sonore qu'ils suscitent.

#### 1.3.1 *Le Piano - un Projet transversal : cognition-mécanique-optimisation-synthèse-lutherie.*

##### 1.3.1.1 Mesure des effets de la variation de la charge du plan de cordes

Ch. Besnainou, J. Frelat -LMM, E. Marandas -facteur de piano

Le piano du LAM a été précédemment restauré pour autoriser des modifications de la force d'appui du plan des cordes sur la table. Le but étant de mesurer les effets des variations de la charge d'appui sur :

- l'impédance mécanique sur différents points du chevalet
- les sons rayonnés par la table
- l'analyse modale de la table

Dans le même temps nous récolterons les verbalisations des musiciens qui participeront aux étapes des modifications.

Une modélisation spécifique de la table sera entreprise pour la recadrer avec les mesures d'analyse modale. Cette modélisation cherchera à confronter ses résultats aux résultats de la modélisation théorique de la précontrainte précédemment effectuée.

##### 1.3.1.2 Analyse psycholinguistique du corpus des verbalisations sur le piano

P. Cheminée, D. Dubois

L'analyse qui avait débuté avec le travail de DEA de Sylvain Busson sera approfondie pour dégager des descripteurs verbaux d'une écoute fine du piano. La perspective étant de rattacher ces descripteurs verbaux à des descripteurs physiques.

1.3.1.3 Confrontation perceptive entre des sons naturels de piano avec leurs répliques issues de synthèses sonores

J. Bensa, D. Dubois, C. Besnainou, P. Ray -LMM

Les modèles de sons de pianos développés par J. Bensa, dans sa thèse, seront utilisés pour créer des banques de données destinées à être comparées aux sons réels précédemment enregistrés. En particulier, il s'agira de tester et de comparer des sons synthétiques qui intègrent ou non des produits de non-linéarités. Non-linéarités venant du modèle de la corde ou bien du modèle de la table. Dans un premier test les sujets déclencheront les sons ou les séquences de sons avec une souris d'ordinateur, puis dans un second test ils les joueront sur un clavier de piano. Ce second test est directement relié à l'étude du rôle du geste dans la perception auditive.

1.3.1.4 Etude du rôle de l'action dans la perception auditive

D. Glowinski -CNSMDP, J. Bensa, D. Dubois, C. Besnainou

L'étude qui a débuté en 2003 (méthodologie et protocole d'expériences) passera dans une phase active de tests. Un piano MIDI servira d'interface entre des sons préalablement stockés dans une banque de données et des musiciens qui auront pour consigne de jouer ces sons et de décrire ce qu'ils perçoivent. En particulier, on cherchera à évaluer l'incidence de manipulations paradoxales sur les sons perçus et le geste qui les produisent.

1.3.1.5 Problème inverse : calculer et optimiser une structure mécanique pour qu'elle produise un son donné

J. Antunes -ITN/LDA, Portugal, M. Sebag -LRI, Orsay

A partir d'un modèle mécanique direct on crée une banque de sons issue des variations des paramètres du modèle. Puis l'on modifie des sons, de cette banque de données, à l'aide du logiciel *AudioSculpt* pour créer des sons validés perceptivement mais absents de la banque de données ; l'objectif est de calculer la structure mécanique qui peut produire de tels sons. Nous utiliserons les modèles que José Antunes a déjà réalisés pour une lame de xylophone. Il s'agit de développer des méthodes que nous étendrons à la table d'harmonie de piano dans son ensemble.

1.3.1.6 Modélisation d'une vihuela en vue de sa reconstitution historique

C. Besnainou, J. Frelat -LMM, S. Vaidelich -Musée de la Musique,  
A. Mamou-Mani -DEA ATIAM

Le Musée de la Musique de Paris possède l'un des trois exemplaires de vihuela qui nous sont parvenus du 15<sup>ème</sup> siècle. L'état actuelle de cette relique interdit une restauration qui puisse la rendre jouable, aussi l'équipe scientifique du musée se propose d'en faire une copie "documentée" à partir des mesures d'analyse modales que l'on peut faire sur les restes de la table et de la caisse. Le premier travail consiste à mettre au point une méthodologie d'une copie modale c'est-à-dire faire un modèle en éléments finis de la table qui sera recadré avec les mesures sur l'original, puis prévoir la réponse de la table libre puis montée sur la caisse,

dans le même temps une réplique construite par un luthier est confrontée à des mesures pour la faire coïncider avec l'original. On s'attachera à introduire dans le calcul éléments finis la précontrainte de la table ainsi que la charge des cordes. Ce travail étant sur un terrain limité analogue à ce que nous projetons de réaliser sur le piano.

### *1.3.2 Miroir à retournement temporel*

Ch. Besnainou, V. Gibiat-LAMI, J. Curtin -Luthier, USA

Le miroir à retournement temporel est maintenant au point. Il permet, d'une part de focaliser de l'énergie acoustique dans une région précise de l'espace (120 dB avec des taux de distorsion extrêmement faibles), d'autre part, il permet aussi de localiser des sources acoustiques ainsi que leurs directivités. La mise en œuvre de cet outil a été motivée pour tester rigoureusement deux hypothèses qui, si elles étaient vérifiées, constitueraient un pas dans la compréhension de l'origine physique des qualités sonores des instruments à cordes. Le principe des mesures est exposé dans le rapport d'activité (cf § 2.1.3)

La première de ces hypothèses est que l'une des causes de la "vie des sons" est à rechercher dans la présence de non-linéarités dans le comportement modal du corps de l'instrument –rappelons qu'il est classiquement admis que le corps sonore est linéaire.

La seconde hypothèse, due à Gabriel Weinreich, est que la directivité des différentes sources sonores sur un instrument à cordes participe à l'appréciation de la qualité sonore. En effet, lorsque l'on joue, par exemple, une gamme sur un violon, les sons parviennent aux oreilles d'un auditeur après réflexion sur les parois de la salle du lieu d'écoute ; l'auditeur aura une image du violon qui dépendra de la localisation et de la directivité des sources des différentes notes émises. Il s'agira de décrire et de comparer la radiativité d'instruments réputés excellents et d'autres médiocres en termes de sources et de directivité.

L'objectif est de constituer une banque de données rassemblant des mesures systématiques sur un grand nombre d'instruments et d'en dégager des tendances. Ce travail serait inimaginable sans la participation active de luthiers de renom tel Joseph Curtin qui nous a déjà permis de tester des violons de qualité exceptionnelle habituellement réservés à une élite restreinte.

### *1.3.3 Rôle de la viscoélasticité*

#### 1.3.3.1 Rôle de la viscoélasticité du bois dans la qualité sonore des instruments à cordes

P. Ray -LMM, J. Frelat LMM, M. F. LMT Cachan, P. Djoharian Grenoble,  
Ch. Besnainou

Les mesures effectuées par M. François au LMT vont permettre de connaître avec précision les valeurs de la viscoélasticité des bois de lutherie ainsi que des matériaux composites que nous réalisons au LAM. P. Ray et P Djoharian pourront alors développer des modèles intégrant ce paramètre de viscoélasticité afin de les utiliser dans des synthèses

sonores incorporant la table d'harmonie. Les sons (en particulier de piano) obtenus seront évalués perceptivement en fonction des valeurs de viscoélasticité.

1.3.3.2 Etude perceptive du rôle de la viscoélasticité dans la qualité sonore des instruments à cordes en matériaux composites

Ch. Besnainou, M. Castellengo, D. Dubois

Nous avons testé de manière informelle le rôle de la viscoélasticité dans la qualité sonore des instruments (cf. rapport d'activité). Il s'agira de tester ici la pertinence du paramètre de viscoélasticité de manière rigoureuse.

Nous disposons actuellement de 3 luths "identiques", toutes choses égales par ailleurs, qui se différencient uniquement par l'introduction ou non, dans le sandwich de la table d'harmonie, d'une couche viscoélastique. Nous élargirons ce panel d'instrument avec deux autres instruments : un premier sera la réplique identique à l'un des précédents –cela pour vérifier que l'on peut avec les techniques composites faire des "clones"– et un second comportera une table en bois ; nous mettrons ce panel de 5 instruments entre les mains de musiciens et nous recueillerons les verbalisations sur la perception qu'ils ont de ces différents instruments. Le corpus des verbalisations sera traité par les méthodes de la psycholinguistique.

1.3.3.3 Poursuite de l'étude et de la caractérisation physique du vieillissement des instruments à cordes

Ph. Guy -INSA Lyon, Ch. Besnainou

L'étude *top/down* que nous avons conduite précédemment pour montrer quels pouvaient être les paramètres pertinents à mesurer va maintenant adopter le point de vue *bottom/up* en vue faire un modèle, duquel on pourra extraire des valeurs de contrainte mécanique et de viscoélasticité au cours du temps.

## 2 - PERCEPTION ET COGNITION

L'étude cognitive (catégorisation) et linguistique (expression en langue) des modalités sensibles dans la construction des connaissances conduit naturellement à explorer l'audition. A fortiori si on prend en compte le fait que cette modalité constitue un domaine d'évaluation particulièrement sensible des hypothèses développées à partir du contraste de fonctionnement cognitif et linguistique de la vision et de l'olfaction. Ce travail mené en collaboration depuis maintenant dix ans avec le LCPE, à l'initiative de Michèle Castellengo, a permis d'inscrire une problématique cognitive au sein du LAM et de reprendre et développer les analyses relatives à la diversité des écoutes des sons (Castellengo, 1999) et plus généralement de prendre en compte leur identité culturelle (musique, voix, bruit).

Dans cette perspective cognitive, on est donc amené à questionner le fait qu'un " même " phénomène physique puisse donner lieu à différents objets cognitifs selon les processus de sémiotisation et de construction en langue et en discours qu'ils suscitent. Ainsi nous avons, dans un premier temps, opposé des **bruits** (souvent considérés comme des " nuisances " dans la mesure où les stimulations sonores sont imputées (et lexicalisées) comme *sources* produisant des *effets* désagréables), aux **sons** produits de manière délibérée comme *artefacts* sonores dont l'intentionnalité (et l'inscription dans les valeurs culturelles) régit l'interprétation. Les bruits seraient ainsi linguistiquement et cognitivement plus semblables aux odeurs que les sons, ces derniers étant plus proches des couleurs (Dubois & David, 1999; Dubois et al 1999; Maffiolo, et al., 1999a; Maffiolo, et al., 1999 b; Maffiolo & al., 2000; Mzali & Dubois, 2000, Mzali et al 2000a, 2000b, Vogel et al., 1999). Il s'agit maintenant de préciser et de repérer les contraintes liées à la structure physique des stimulations sonores sur l'interprétation, dans la construction de ces divers objets cognitifs, tant sur le plan théorique que dans des visées applicatives.

Si le domaine auditif constitue ainsi un terrain privilégié d'étude et de tests d'hypothèses théoriques relativement à la construction de la diversité des catégories cognitives, la mise en place des recherches expérimentales en acoustique suscite également nombre de questions méthodologiques concernant en particulier :

- une réflexion sur la validité écologique des situations de laboratoire, incluant les conditions d'enregistrement, de restitution et de " distribution " des stimulations sensorielles (Vogel, 1999; Guastavino 2003),
- la nécessité de contrôler systématiquement les conditions de production et de recueil des données langagières (en particulier les consignes en jeu dans les situations de productions verbales provoquées),
- la nécessité d'intégrer la réflexion sur la pertinence des traitements, inférences et interprétations de ces données cognitives (Lecoutre & al, 1999, 2000, 2001, Lecoutre & Poitevineau 2000, Poitevineau & Lecoutre 2001).

Les acquis dans l'étude de la catégorisation et de la désignation en langue de perceptions relevant de l'univers sonore, constitués à partir des travaux et des recherches communes du



LCPE et du LAM a donné lieu à cinq thèses codirigées entre 1998 et 2003 (cf. II 2 ainsi que les bibliographies). Les auteurs de ces thèses, en assumant maintenant des responsabilités dans divers secteurs de recherche, permettent d'assurer une continuité des problématiques ainsi élaborées. La productivité de cette coopération dont faisait état le précédent rapport du LAM (p. 28) nous a incité à risquer la poursuite de ces recherches dans une intégration institutionnelle. Il nous a semblé en effet, après en avoir discuté avec les diverses autorités de tutelle (Département SPI et SHS du CNRS, Université de Paris VI) ainsi qu'avec la formation doctorale de l'Université de Paris III), et avec leur aval, qu'une intégration institutionnelle permettrait de réaliser concrètement, dans la pratique d'une vie de Laboratoire, les enjeux et la dynamique d'une recherche pluridisciplinaire. Celle-ci, dans la mesure où elle s'inscrit dans le respect des approches et des méthodes des différents domaines, peut en effet, en articulant les travaux et les problématiques de l'acoustique et les travaux en psychologie et en linguistique cognitives sur les aspects perceptifs, permettre une approche plus complète des objets culturels comme la musique, la voix ou l'ensemble des sons et bruits nécessairement producteurs de sens pour l'homme, qui constituent l'originalité du LAM comme laboratoire d'acoustique.

L'ensemble de ces travaux a donc conduit à l'émergence d'une thématique plus générale centrée sur l'étude de

- la diversité des relations entre les catégories sémantiques issues des diverses modalités sensorielles ;
- la diversité des expressions en langue de ces structures sémantiques (des formes discursives à des lexicalisations simples ou construites) ;
- la diversité des contraintes linguistiques (morphologiques, morphosyntaxiques, orthographiques ...).

Les contraintes réciproques (perceptives, cognitives et linguistiques) qui s'exercent sur la construction des catégories sémantiques peuvent ainsi être décrites :

- tantôt à partir des analyses des contraintes des langues (orthographiques, morphosyntaxiques, syntaxiques, discursives...)
- tantôt à partir des contraintes cognitives (diversités des constructions catégorielles selon les propriétés des stimulations et selon les propriétés spécifiques des diverses sensibilités).
- tout en prenant en compte les contraintes physiques du signal acoustique à l'origine des traitements cognitifs, et d'être ainsi conduit à en préciser les descriptions pertinentes dans l'espace des sciences physiques.

Dans la confrontation avec les descriptions des phénomènes physiques, les descriptions des phénomènes cognitifs se doivent donc de précisément identifier les propriétés spécifiques de ces objets humaines (donc culturels).

On résumera schématiquement cette spécificité des objets cognitifs afin de les positionner en regard des phénomènes décrits par les sciences physiques, et de pouvoir ainsi plus explicitement situer les recherches pluridisciplinaires :

### Quelques caractéristiques des objets cognitifs

\* **Non observables.**

\* **Individuels**, et donc soumis à de grandes variations en fonction de la diversité des expériences vécues par les différents sujets.

\* En “ **contexte** ” ou une situation (un temps, un lieu, un état physiologique), et des couplages avec d’autres éléments (autres objets ou dimensions sensorielles corrélés dans la situation).

En conséquence, les représentations ainsi construites “ naturellement ” présentent-elles :

- un aspect **global**, en opposition avec la perspective analytique des situations issues de la psychophysique dans lesquelles les variables, dimensions, objets pertinents ont été isolés préalablement aux jugements,

- un caractère de “ **multimodalité** ” essentielle et constitutive, dont il s’agit **d’abstraire** (extraire) les paramètres **pertinents** pour en donner une description sur des dimensions “ simples ” des sciences physiques (qui ne sont donc plus identifiés *a priori*).

\* Des effets de **mémoire** : les jugements humains sont dépendants des perceptions précédentes et des **apprentissages** y compris moteurs qui sont associés: la perception est liée à **l'action**.

\* Cette mémoire est *à la fois* **individuelle et collective** : elle résulte à la fois de l’expérience personnelle individuelle et de son inscription dans des valeurs de groupe.

\* Des **effets de sens** : l’esprit humain ne se contente pas de “ traiter de l’information ”, mais **d’interpréter** et de produire des **significations** qui intègrent en particulier des jugements qualitatifs de type hédoniques et/ou esthétiques à des descriptions à visée “ objective ”.

\* Enfin, ces expériences subjectives sont susceptibles, dans toutes les cultures humaines d’être manifestées, rendues publiques et observables par des **expressions en langue** (ou plus généralement dans des **systèmes symboliques**) et d’être ainsi **collectivement partagées**. Les langues permettent donc le passage d’une expérience subjective individuelle à l’espace collectif des significations inscrites en langue.

Deux ordres de contraintes, cognitives et langagières doivent ainsi être conjointement pris en considération dans la construction des **connaissances (connaissances expertes vs communes)** et des dénominations et discours correspondants. Dans cette perspective, on pourra analyser les conceptualisations et dénominations des sciences physiques, considérées comme un mode de constitution d’objets cognitifs très particulier, celui qui conduit à la construction de l’objectivité, à travers en particulier leur système spécifique d’inscription en langue, et leur organisation en discours scientifique, rejoignant ainsi les questions abordées en histoire et en anthropologie des sciences.

## **2.1 Sémantique et Objets Sonores (S.O.S)**

### **Paroles, musiques et bruits : Traitement du signal, représentation des connaissances et sémantique des objets sonores**

C'est dans la dynamique de l'arrivée du LCPE au LAM que s'inscrit le projet SOS "sémantique des objets sonores", présenté par Danièle Dubois, et qui vient d'être reconnu "Equipe Projet" du RTP 38 du département STIC du CNRS (**Processus cognitifs et construction du sens**).

Ce programme de travail, coordonné par Danièle Dubois, s'inscrit transversalement dans les problématiques sémiophysiques du LAM, et contribue ainsi aux diverses opérations de recherches développées dans les thèmes 2 et 3. Il regroupe actuellement outre des membres du LAM (M. Castellengo, D. Dubois, J-D. Polack), des linguistes de Paris 3 (M-A Morel (EA 1483), A. Rialland (UMR 7018 SHS), des informaticiens et cognitiens (M. Davy (IRCCyN UMR 6597) et G. Hégron (CERMA, UMR 1563) avec lesquels nous avons déjà collaboré dans la FR24 88 "Physique et images de la ville": SPI/SHS/STIC Ministère de la culture), et G. Sabah (LIMSI), ainsi que des collaborations avec la recherche industrielle (F. Poisson, M. Mzali (SNCF Service de la recherche).

Si la tradition scientifique psychophysique qui a privilégié les méthodologies de type "bottom-up", de l'analyse physique du signal aux traitements des informations symboliques a permis de répondre aux questions relatives aux premières étapes du traitement de l'information, cette approche atteint des limites lorsque les phénomènes à étudier présentent un caractère global, "situé", comme les phénomènes, "évidents" pour les "systèmes humains", tels l'identification de sources sonores ou du timbre d'un instrument, la reconnaissance de voix ou de langues, ou encore l'évaluation qualitative d'ambiances urbaines ou de nuisances sonores, le confort acoustique dans d'une salle de concert ou lors d'un voyage en TGV.

Il s'agit du "vieux" problème qui consiste à tenter de relier (sinon expliquer et/ou réduire) une description "qualitative" d'un phénomène (qualifié de subjectif, mais nous dirons cognitif), comme une ambiance urbaine, un discours, un chant, un bruit, ... à une description physique de signaux que sont les stimuli (sinon les causes). Ce problème est évidemment bien connu des linguistes, en particulier des phonéticiens et phonologues. Nous nous proposons donc ici de tenter de le résoudre (description des unités élémentaires du signal / unités de signification et bien évidemment corrélations entre les deux) sur une diversité d'objets qui partagent la propriété d'être acoustiques, mais qui, à partir de cette "même" matérialité physique, produisent des objets très différents. Nous tenterons de réduire le paradoxe de l'opposition entre la difficulté d'appréhender ces phénomènes d'un point de vue physique et le caractère d'évidence du point de vue des traitement par les humains :

## *Projets*

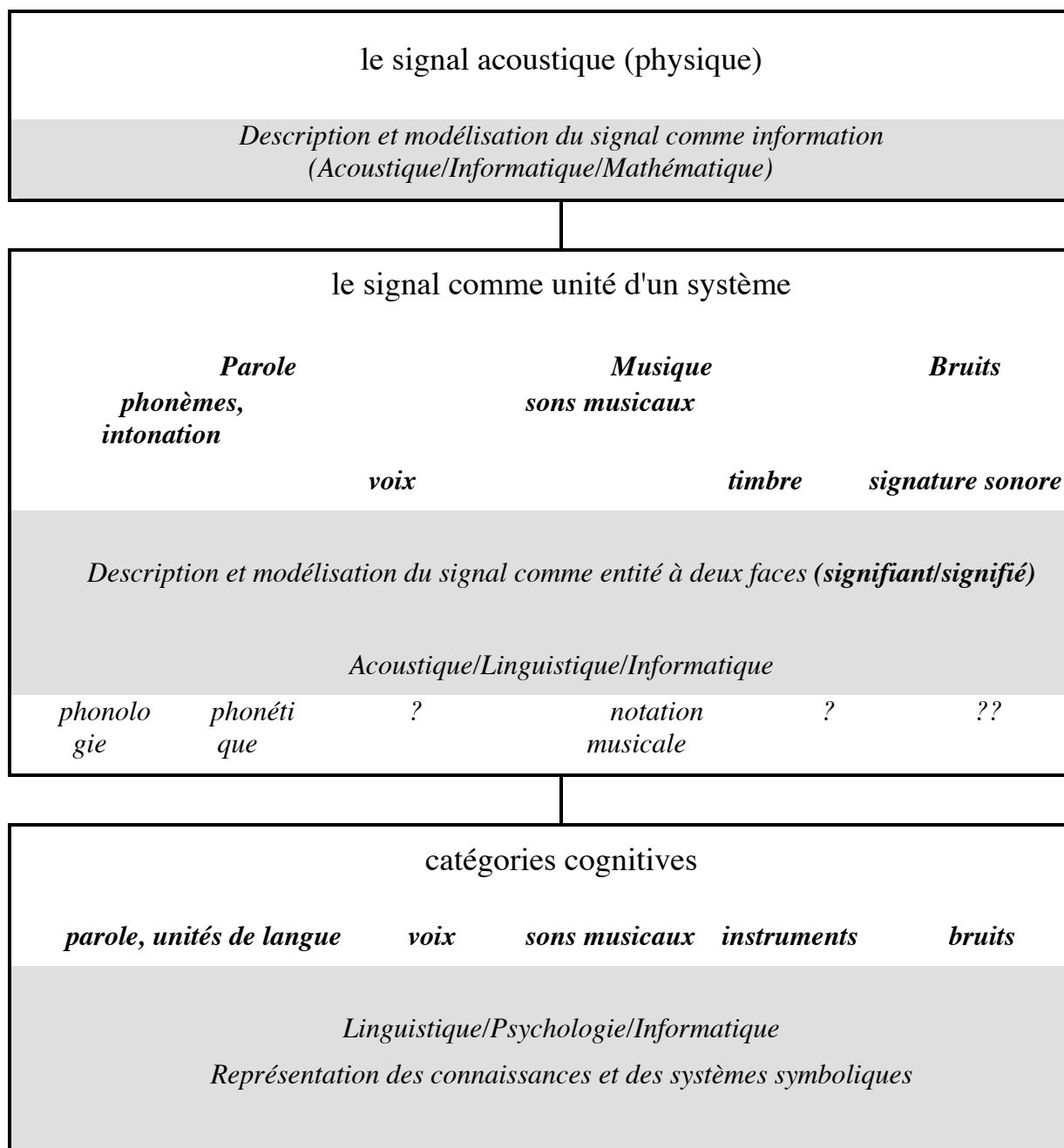
- des textures, contours, signatures acoustiques, dans l'identification des objets familiers,
- des sons du langage, phonétique, phonologie, prosodie, intonation et de leur contribution à l'identification de la signification du discours y compris dans la diversité des langues,
- du chant et de la voix chantée,
- du timbre des instruments de musique,
- des “ ambiances ” d'espaces architecturaux, des TGV, des salles de concerts dans la qualification des lieux et de leur “ confort ”, par exemple,
- du bruit, des bruits et des sons, dans les environnements divers (ambiances urbaines, bruits des transports, ...) en tenant compte de la diversité des cultures et de leurs rapports au bruit.

Les phénomènes acoustiques (à la différence tant des phénomènes visuels qu'olfactifs) nous semblent ainsi un remarquable terrain d'expérimentation dans la mesure où ils sont à la fois bien définis et analysés à l'origine comme des phénomènes physiques en acoustique, et représentent une diversité d'objets de connaissances, eux aussi déjà largement explorés, dans les sciences humaines (linguistique, histoire, musicologie, anthropologie, psychologie cognitive). Et ce à partir de l'expertise des spécialistes dans chacun de ces domaines et dont la volonté est précisément :

- d'éprouver les conceptions, élaborées dans chacun de leurs domaines, qui permettent la généralisation à d'autres types d'objets, ainsi que
- de mettre en œuvre des méthodologies ou règles de mise en correspondance des méthodes et concepts élaborés dans chacune des disciplines.

En particulier, chacun a éprouvé dans son domaine respectif la difficulté de passer des recherches analytiques en laboratoire à l'épreuve du “ terrain ”, et symétriquement nombreux sont les chercheurs qui tentent de définir les critères d'expérimentations “ écologiquement valides ”, c'est à dire dont la généralisation des conclusions est pertinente en situation “ naturelle ”.

Systématisation de la problématique et mise en place du programme de travail



*Lecture verticale :*

Les trois "couches" amènent à relier une analyse du signal physique comme information à l'analyse de ce "même" signal comme indice (dans un espace de significations et de connaissances avec, à l'interface de ces deux couches, des objets "bifaces" (signifiant/signifié) qui ont le statut d'unités sous la dépendance de leur appartenance à un système plus ou moins structuré et codifié.

*De là une lecture horizontale :*

Distribution de ces divers objets selon leur appartenance à des systèmes. L'analyse des sons de la parole est ainsi clairement liée à l'appartenance de ces signaux acoustiques particuliers à une langue, alors que la catégorisation des bruits quotidiens de notre environnement n'est pas régie, ni constituée par leur appartenance à un système, la musique se situant (peut-être dans notre culture à tout le moins) dans un espace intermédiaire (à la fois système de sons musicaux et bruit là où la parole constitue à la fois un système de phonèmes mais inclus des phénomènes acoustiques non systématiques, telle la voix).

En bref, l'analyse contrastive des traitements de ces divers objets dont la diversité de statuts cognitifs est déjà largement étudiée et connue, nous semble constituer un terrain expérimental de choix pour l'étude d'une cognition " située " permettant d'identifier les lieux et méthodes de couplage des descriptions symboliques et des descriptions physiques de ces " mêmes " phénomènes. Par ailleurs, ces recherches ont déjà trouvé des terrains d'application, non seulement dans l'identification de mesures correctrices de nuisances sonores mais plus largement dans la définition de la qualité sonore de l'environnement, du confort acoustique, ou encore dans la conception de nouveaux objets sonores (design sonore), susceptibles d'intéresser le secteur industriel.

Outre les coopérations avec les laboratoires précédemment cités, des opérations détaillées par ailleurs (cf. IV 1.2.3, IV 2.2, IV 2.3) s'articulent sur ce travail, ainsi que sur les trois opérations de recherches suivantes :

### 2.1.1 *Indicateurs sonores urbains pertinents pour les périodes sensibles*

B. Robin, J.D. Polack ; coll. J. Beaumont, INRETS

Répondre aux attentes du public en matière d'environnement sonore demande encore beaucoup d'efforts quant à sa description au moyen d'indices. Dans la logique de la dernière directive européenne sur le bruit, qui fixe le  $L_{den}$  comme descripteur unique tout en laissant à chaque pays la possibilité d'utiliser des indices complémentaires, le but de ce projet de recherche, qui fait l'objet de la thèse de Benjamin Robin (cofinancement Adème/INRETS) est d'améliorer la description de la perception sonore pour des sites urbains pendant les périodes sensibles (matinée et soirée).

On choisit de s'intéresser à toutes les particularités du bruit, plus précisément aux émergences et au bruit de fond. Pour cela, on effectuera dans un premier temps la synthèse des variables pouvant jouer un rôle dans la définition du bruit et de la perception, ces variables pouvant caractériser l'environnement, l'infrastructure et le véhicule. Les différentes combinaisons de variables acoustiques et non-acoustiques donneront naissance à un grand nombre de situations. Grâce à nos résultats antérieurs sur la perception, on déterminera les sites intéressants pour effectuer des mesures et des enquêtes de perception.

A partir d'une classification perceptive des zones urbaines, les objectifs de cette étude sont donc de trouver des zones types, de déterminer les paramètres pertinents pour décrire ces zones types et d'élaborer des indices acoustiques capables de traduire le vécu sonore des riverains pendant les périodes sensibles. Ces indicateurs devront tenir compte des

émergences, caractériser les évènements sonores, décrire et quantifier le bruit de fond urbain en fonction des particularités des ambiances sonores des sites rencontrés.

Ce travail s'effectue en collaboration avec le Laboratoire Transports et Environnement de l'INRETS où il s'inscrit dans le Projet II (PIE) « Prospective et indicateurs des impacts des transports sur l'environnement, outils d'évaluation et d'aide à la décision ». Les autres partenaires sont l'Institut Polytechnique de Turin, et Acouphen. Ce projet s'inscrit dans les thématiques du GDR « Bruits des transports » (GDR CNRS 2493). Il vient d'être sélectionné, dans le cadre du programme « Bruit et nuisances sonores », à l'appel à propositions de recherche lancé par le MEDD en 2003.

### 2.1.2 *Multi-exposition route-rail et descripteurs qualitatifs*

E. Walker, J.D. Polack ; coll. C. Cremezi-Charlet, SNCF

Ce projet se propose de caractériser des situations de multi-exposition "route - rail" au travers de l'évaluation conjointe de descripteurs acoustiques novateurs, conformément aux données sensibles issues d'enquête ou d'expérimentations auprès d'individus, riverains potentiels de voies routières et ferroviaires. A partir des résultats des enquêtes exploratoires et nationales menées conjointement par la SNCF et l'INRETS en contexte *in situ*, il s'agit de poursuivre la recherche sur la caractérisation acoustique de critères qualitatifs des situations de multi-exposition.

Nos précédents travaux sur les représentations sensibles de sujets ont montré l'importance de l'identification de sources sonores ou d'événements, émergeant d'un continuum, dans le jugement de situations sonores ou de séquences rediffusées. Comment déterminer des descripteurs permettant de caractériser les "différences perçues" et quelles sont-elles quand il s'agit de situations sonores multi-exposées ?

Les principaux objectifs sont d'établir une réflexion sur les méthodes d'évaluation de situations sonores de multi-exposition, et de définir de nouveaux critères qualitatifs des situations de multi-exposition étudiées. La validation de ces critères demande la mise en œuvre de nouvelles expérimentations dont le protocole méthodologique sera à définir. Il s'agira de définir si ces critères sont pertinents d'un point de vue "sensible", concernant l'impact perceptif et santé sur l'individu.

Ce projet, qui fait l'objet de la thèse d'Eva Walker (bourse CIFRE/SNCF), s'effectue en collaboration avec la Direction de la Recherche et de la Technologie de la SNCF, et le laboratoire LTE de l'INRETS. Il s'inscrit dans les thématiques du projet PREDIT "*Gêne sonore en situation de multi-exposition*", soumis par le LTE (INRETS Bron), le CSTB (Grenoble) et le LMRTE (Université de Cergy-Pontoise). Il s'inscrit également dans les thématiques du GDR 2493 « bruit des transports ».

### 2.1.3 *Projet HISAC*

J.D. Polack ; collaborations extérieures

Le projet HISAC (High Speed AirCRAFT) a été proposé au 6° PCRD par un consortium européen réuni autour de Airbus Industries, pour étudier le supersonique d'affaire qui doit succéder à terme à Concorde.

L'un des problèmes posés par un supersonique est l'acceptation par les populations survolées du bang sonique, si bien que tout un chapitre du projet est dédié aux nuisances sonores (WP5). Or le bang sonique ne s'entend plus aujourd'hui. Une étude fondamentale est donc nécessaire pour comprendre comment il est perçu, et ce qu'il signifie pour les gens. Une telle étude rentre bien dans les compétences développées au LAM sur la perception et son rapport à la cognition, et c'est pourquoi les participants au projet l'ont confié au LAM. Le financement d'une thèse est prévue dans le projet.

Outre l'étude de la perception du bang sonique, le projet prévoit sa reproduction en cabine d'écoute, et la technologie développée au LAM pour la reproduction sonore basse fréquence y voit là une application directe (cf. bilan thème 3). Un apport du laboratoire est aussi prévu sur ce point.

Le projet HISAC n'a pas été retenu au premier tour du 6°PCRD, mais son volet nuisance devrait être présenté à nouveau l'an prochain.

## **2.2 Bruits et voix : confort vocal et intelligibilité de la communication**

M. Garnier, N. Henrich, D. Dubois, J.D. Polack

Ce projet correspond à l'encadrement d'une thèse de doctorat : « *Acoustique et perception du forçage vocal : les effets d'un environnement bruyant sur la santé vocale et l'intelligibilité de la voix* », Maëva Garnier, Ecole Doctorale SMAE, Université Paris 6. Cette thèse, qui s'intègre au programme de Nathalie Heinrich sur la voix (cf. IV 1.2.3), sera co-dirigée par Danièle Dubois et Jean-Dominique Polack, et se fera en collaboration avec de nombreuses personnes extérieures au laboratoire :

\* Boris Doval, Maître de conférence Paris 2 en traitement de signal et informatique, LIMSI ;

\* Mary-Annick Morel, professeur Paris 3 en linguistique ;

\* Sten Ternström, professeur d'acoustique musicale et d'électroacoustique au Department of Speech Music and Hearing, Music acoustics group, KTH, Stockholm, Suède;

\* Bernard Roubeau, orthophoniste au Service ORL de l'Hôpital Tenon.



Afin de se faire entendre dans un environnement bruyant (amphithéâtre de faculté, bars, marchés, ...), nous sommes contraints de produire des sons de forte intensité. Cependant, avec un entraînement vocal insuffisant, la production de tels sons peut conduire à des gestes vocaux inadaptés et dangereux pour la santé vocale du locuteur. Reconnu récemment comme un risque professionnel, le forçage vocal est un réel problème de santé publique pour toutes les personnes qui utilisent leur voix comme outil de travail au quotidien et qui n'ont pas forcément des moyens d'amplification sonore à leur disposition.

La production vocale est fortement influencée par l'environnement acoustique et la boucle audio-phonatoire. Cette thèse se propose d'étudier les effets d'un forçage vocal, du point de vue physiologique, acoustique et perceptif.

Nous nous intéressons à l'impact d'un geste de forçage vocal sur le mouvement vibratoire glottique et sur les caractéristiques spectrales du son produit. Dans un premier temps, nous étudierons une base de données sur le forçage vocal enregistrée au LIMSI (Boris Doval) en 1997. A la lumière des résultats de cette première analyse, nous enregistrerons une base ciblée pour cette étude, en utilisant les méthodes expérimentales développées au LAM ces dernières années. En particulier, l'électroglottographie sera choisie comme méthode non-invasive d'exploration du mouvement vibratoire glottique. En collaboration avec le Department of Speech Music and Hearing (KTH, Stockholm, Suède), nous utiliserons des méthodes récentes d'analyse acoustique d'un locuteur dans un environnement bruyant. Ces méthodes sont de deux types :

- méthodes expérimentales pour le placement du sujet dans un environnement bruyant simulé sur enceintes acoustiques
- outils de traitement du signal, permettant de soustraire l'environnement acoustique d'un signal de parole enregistré.

A partir des échantillons sonores enregistrés dans ces conditions, nous mènerons une étude perceptive de l'intelligibilité vocale, en collaboration avec des psycholinguistes. En effet, indépendamment d'un mauvais placement vocal, nous constatons que certains locuteurs parviennent à être mieux compris que d'autres. Par cette étude perceptive, nous aimerions saisir quels sont les paramètres acoustiques pertinents pour l'intelligibilité d'une voix émise dans un environnement bruyant. Nous désirons également explorer le corrélat entre les aspects physiologiques et acoustiques du forçage et la qualité vocale perçue.

A terme, ces recherches devraient aboutir à une caractérisation physiologique, acoustique et perceptive du forçage vocal. Elles devraient permettre de proposer des solutions pour la prévention de ce risque professionnel, afin d'améliorer le confort vocal des personnes exerçant dans un environnement bruyant.

## **2.3 Perception de la musique**

Michèle Castellengo

Dans le cadre de l'éméritat qui lui a été accordé, Michèle Castellengo souhaite rassembler des recherches antérieures (ou à venir) sous la dénomination "musicologie et acoustique".

Ayant siégé au jury de plusieurs thèses de musicologie et d'ethnomusicologie, elle a pu constater l'intérêt qu'il y aurait à développer une recherche acoustique orientée sur les objets des musiques traditionnelles. Si un nombre croissant de musiciens et de musicologues dispose aujourd'hui des outils d'analyse du son, la faiblesse des connaissances en perception sonore en limite fortement l'exploitation. L'étude de la "cinquième voix" des chanteurs Sardes illustre bien cet état de fait. Par ailleurs il est à noter que "l'interaction" sciences humaines/sciences physiques est invoquée de façon croissante. En 2004 se tient la première conférence internationale de Musicologie interdisciplinaire en Autriche (<http://gewi.uni-graz.at/~cim04/>), pour laquelle M. Castellengo a été sollicitée en tant que membre du comité scientifique.

Dans le cadre d'un séminaire régulier organisé en collaboration avec les musicologues concernés les sujets suivants, qui ont déjà fait l'objet d'une étude pourront déjà être abordés rapidement :

- les échelles musicales des musiques polyphoniques : musique vocale polyphonique des Pygmées d'Afrique centrale (coll. S.Fürniss du Lacito), chants à tierces parallèles des Bunun de Taïwan.

- les relations entre la perception de hauteur spectrale et l'ajustement des formants vocaliques dans certaines traditions vocales : Tibet.

- la perception de hauteur de sons "bruités" avec formants spectraux : la Bagana, lyre d'Ethiopie (coll. S. Weisser).

Le travail fera appel à une méthode "mixte" combinant l'analyse perceptive, les mesures acoustiques et l'analyse/synthèse. A terme, les échanges développés au sein de ce séminaire devraient permettre aux musicologues de prendre plus d'autonomie, et apporter en retour un élargissement des connaissances en perception sonore.

## **2.4 Contraintes langagières et connaissances**

Trois ordres de contraintes langagières sur la construction des catégories cognitives, liées aux différents plans d'analyse des langues, déterminent 3 types d'opérations de recherche :

### *2.4.1 Les contraintes liées à la matérialité symbolique et aux technologies linguistiques et informatiques des langues*

N. Cavelier, C. Cance, D. Dubois, A. Giboreau, J. Poitevineau, P. Selosse

La visée est d'étudier le rôle des supports matériels de l'expression linguistique (oral, écrit, informatique) dans la constitution et le traitement des connaissances (dictionnaires, nomenclatures, bases de données).

L'expertise linguistique sera également mise au service de l'évaluation de divers traitements automatiques des corpus pour nos propres démarches relatives à l'expression en langue des modalités sensibles. Un premier travail a déjà été réalisé par S. David et C. Cance à partir des logiciels *Nomino* et *Termino*. Nous envisageons l'étude comparative des logiciels *Tropes*, *Alceste* ainsi que *l'analyse sémantique latente*, fréquemment utilisés en analyse sensorielle.

#### *2.4.2 Les contraintes liées aux propriétés des systèmes linguistiques*

J. Poitou, P. Cheminée, D. Dubois, P. Selosse, C. Grinevald, G. Hilaire, M. Koncova, L. Lundquist

On analyse les formes nominales et les modes de constructions lexicales (grammaticalisation, morphosyntaxe, lexicalisation dans la construction des catégories).

On s'attachera tout particulièrement à la diversité des modes de construction nominales en français en contrastif avec d'autres langues (allemand (J. Poitou) danois, (L. Lundquist), langues amérindiennes (C. Grinevald), slovaque (M. Koncova) et des conséquences de cette diversité sur les constructions cognitives et les modes de référenciation.

Cette thématique est particulièrement développée en relation avec la thématique du programme SOS en ce qui concerne les objets sonores (lecture horizontale du tableau 2).

#### *2.4.3 Les contraintes discursives sur la sémantique lexicale*

D. Dubois, A. Lammel, P. Resche-Rigon, L. Mondada, M-A Morel, M. Souchard

Il s'agit d'identifier les modes de construction ou d'expression des connaissances en discours dans la diversité des pratiques langagières. En effet, l'exploration de la diversité des modes de lexicalisation dans les modalités sensibles interdit non seulement de considérer les langues comme des nomenclatures, mais conduit à attacher une attention toute particulières aux procédés discursifs de construction des catégories diversement lexicalisées et nominalisées.

Cela permet également l'analyse du fonctionnement différentiel du lexique dans la diversité des types de discours, en particulier dans le contraste encore schématique entre discours ordinaires, discours de spécialité, discours scientifique ou encore dans des corpus littéraires. Ici encore, on retiendra les contextes d'énonciation et on sera attentif aux limites apportés par des analyses de corpus provoqués écrits, pour explorer des situations de discours plus "spontanés" (telles les œuvres littéraires) et bénéficier des avancées de l'étude des corpus oraux développée dans l'équipe de M. Morel à Paris 3.

Les interactions avec les problématiques différentielles entre modalités sensibles (cf ci-après en 3) conduit à définir des opérations de recherche transversales rapportées en 4.

## 2.5 Constructions langagières et modalités sensorielles

Les opérations de recherches sont structurées cette fois en relation, non plus en relation avec les plans d'analyse des langues mais en fonction de la diversité des rapports sensibles au monde selon les distinctions de sens commun entre modalités sensorielles et leurs interactions dans la diversités des objets du monde.

### 2.5.1 *Lexicalisation et conceptualisation dans les diverses modalités sensorielles*

D. Dubois, C. Cance, A. Giboreau, Ph. Resche-Rigon, C. Grivenald,  
M. Koncova, C. Rouby

La catégorisation de la couleur a été utilisée comme un domaine sensible des débats au sein des linguistiques cognitives. Nous continuons d'appréhender la diversités des conceptualisations de la couleur à partir de l'analyse de la diversité des modes de désignation et de dénomination dans une grande variété de pratiques.

Les problématiques dégagées dans le domaine de la couleur sont également confrontées aux processus de lexicalisation et de dénominations dans les autres modalités sensibles. Nous sommes actuellement amenés à élargir nos investigations, outre au domaine acoustique, aux domaines de la gustation, du toucher pour des produits alimentaires et cosmétiques. La question du rôle du toucher nous concerne particulièrement dans la mesure où, en acoustique, elle s'articule sur l'analyse du geste (opération IV 1.3.1.4.), en particulier dans l'évaluation de la qualité des instruments de musique et de celle des productions musicales.

### 2.5.2 *Désignation d'objets sensoriels complexes : interactions et synesthésies*

C. Cance, M. Castellengo, N. Cavelier, P. Cheminée, G. Delepaut,  
C. Guastavino, A. Lammel, M. Mzali, J. Poitevineau, J-D Polack,  
M. Raimbault, P. Van Elslande, C. Rouby

On étudiera ici les modes de désignation et de construction catégorielle liés aux diverses sensibilités, non plus isolées, mais en interaction dans plusieurs types de situations. Cela concerne la poursuite des travaux sur la qualité des ambiances sonores, celle des espaces urbains, ou des objets quotidiens dans leur multimodalité sensorielle comme ensemble de stimulations et dans la synesthésie qui en résulte.

Nous accordons une mention spéciale aux deux thèses actuellement en cours qui se développent chacune dans le cadre d'une bourse Cifre avec PSA d'une part et la SNCF d'autre part.

#### 2.5.2.1 Représentation et désignation d'espaces naturels, artificiels et virtuels.

C. Cance, N. Cavelier, D. Dubois, A. Giboreau, L. Mondada, A. Bardot  
(PSA)

Il s'agit d'étudier à partir des questions de l'entreprise relatives à la qualité de l'espace visuel des habitacles automobiles, de définir le jeu complexe des formes, textures, couleurs dans la construction de l'espace intérieur des voitures et dans leur jugements qualitatifs.

Le protocole expérimental inclut diverses situations d'expériences et d'enquêtes linguistiques permettant de contraster les processus de construction catégorielle et de désignation d'objets dans leur relation à l'espace, dans différentes situations de questionnement où se trouvent croisés le statut de représentations cognitives (mémorisées, "perceptives", dans différents "mondes" visuels, réels et/ou virtuels) et les activités de construction de la référence dans différentes situations d'interaction verbales (enquêtes, réponses à questionnaires, recueil de corpus spontanés).

Cette thématique s'articule sur le travail méthodologique concernant à la fois le rôle des médiations symboliques dans la construction des représentations cognitives en visuel, et la démarche relative à l'évaluation de la qualité de la restitution des phénomènes acoustiques tant dans la démarche expérimentale que dans la pratique de la restauration et de la conservation des enregistrements anciens (cf. IV 3.4) davantage abordés sous l'angle méthodologique et expérimental en 4.1.

#### 2.5.2.2 Étude sur le confort global

G. Delepaut, D. Dubois S. Guerrand, M. Mzali. (SNCF /Cifre)

Si nos recherches avec la SNCF ont déjà abouti à analyser certaines composantes du confort acoustique (M. Mzali), l'entreprise est actuellement intéressée à aborder davantage la notion de confort global. Ce concept inclut non seulement les composantes visuelles, auditives, olfactives, kinesthésiques qui ont déjà pu être étudiées isolément, mais marque son originalité en centrant l'analyse sur leurs interactions, y compris avec d'autres aspects non sensibles du voyage tel sa durée, son prix, ses motivations à partir de leur expression en langue, du ressenti des usagers en relation avec les mesures physiques des situations étudiées. Ce terrain constitue ainsi une mise à l'épreuve de nos hypothèses relatives à la sémantique lexicale et au caractère productif d'une démarche sémiophysique qui partant de l'analyse des représentations cognitives à partir de leur expression en langue permet d'identifier les éléments physiques sur lesquels il est possible de faire intervenir des mesures correctrices pour l'amélioration du confort.

#### 2.5.3 *Gestes, corporéité, jugements perceptifs, et pratiques langagières*

D. Dubois, P. Cheminée, C. Guastavino, J. Poitevineau, C. Grinevald  
M.A. Morel. programme OHLL, B. Bril, V. Roux

La catégorisation des gestes et leur description ont d'abord été abordées dans les pratiques de fabrication d'objets (programme OHLL, B. Bril, V. Roux) ou la mise en œuvre d'activités quotidiennes généralement peu sujettes à des modes d'expression langagière (se laver les dents, mettre ses chaussures etc ...). Cette opération de recherche nous amène à inscrire notre démarche dans le cadre des problématiques d'une cognition "incorporée", et située (en opposition à la conception du cognitif comme traitement d'une information indépendante des supports matériels). Elle amène également à coupler l'analyse des processus perceptifs avec celle de l'activité du sujet (dans toutes ses dimensions, motricité, action, pratiques).

Enfin, sur un plan à la fois théorique et méthodologique elle impose de problématiser les modes de questionnement sur des objets à propos desquels il est peu commun de s'exprimer, et donc pour lesquels les sujets interrogés se trouvent dans des situations difficiles, peut-être semblables à celles que rencontrent les informateurs de cultures différentes des nôtres. Ainsi, outre notre intérêt constant de recherches des relations entre les représentations cognitives et

leurs représentations en langue, cette thématique présente un intérêt méthodologique relativement au questionnement et à l' " accès " aux représentations cognitives.

Cette problématique contribue également à deux opérations de recherches, plus précisément développées en IV 1.3.1 et IV 1.2.3, le thème des instruments de musiques et de la voix chantée, et dont nous ne mentionnons ici que l'orientation qui s'intègre à la dynamique cognitive.

#### *2.5.4 Evaluation de la qualité musicale des instruments de musique*

(contribution au projet "piano" de C. Besnainou) P. Cheminée, D. Dubois.

Un premier travail mené par Sylvain Busson a en effet montré que l'évaluation de la qualité de 9 pianos s'effectuait selon des catégories structurées selon un " air de famille " et dans lesquelles intervenaient non seulement des propriétés acoustiques des sons produits mais les " réponses " mécaniques de l'instrument à l'activité du pianiste, variables en fonction de l'expertise de celui-ci. Et donc que les jugements perceptifs sont également dépendant des modes d'exécution et de production des sons musicaux. Le large corpus d'enquêtes recueilli lors de ce travail est actuellement en cours d'analyse.

On participera par ailleurs à la mise en place d'une expérimentation destinée à cerner plus précisément les effets de certaines propriétés mécaniques des instruments sur les jugements perceptifs des musiciens qui les utilisent.

#### *2.5.5 Catégorisation et représentations cognitives de la voix chantée*

(contribution aux thématiques de N. Henrich et M. Castellengo)

P. Cheminée, D. Dubois, J. Poitevineau

Si les recherches en phonétique et phonologie montrent que les formes sonores liées à la parole ne sont pas reconnues en elles-mêmes mais comme produites par un geste (voir entre autres, la théorie "motrice", la théorie "quantale" des sons du langage, la "phonologie de laboratoire"), voire même par un locuteur (individu appartenant à une culture), peu de recherches ont tenté d'identifier les caractéristiques cognitives attribuées à la voix.

Un premier travail exploratoire mené par M. Garnier manifeste nettement la difficulté à décrire la voix, même par des spécialistes de l'apprentissage du chant qui souvent insistent autant sinon plus sur les techniques vocales de production de la voix que sur les propriétés du phénomène acoustique.

Ce travail pluridisciplinaire n'en n'est qu'à ses débuts, mais devrait permettre de coordonner des recherches encore dispersées.

## 2.6 Transversalement : Typologies discursives et description de la sensibilité

Deux opérations de recherches abordent la question centrale des représentations sensibles et de leur inscription en langue à partir de deux types de discours bien identifiés : un corpus de textes littéraires et un corpus de définitions à la fois communes et expertes, relatifs à des jugements perceptifs d'odeurs, de bruits ou encore de saveurs.

### 2.6.1 *Étude comparative des descriptions des catégories olfactives et auditives dans des corpus littéraires.*

P. Resche-Rigon, D. Dubois.

Dans le cadre de l'analyse des catégories issues des modalités sensorielles, l'objectif de cette opération de recherche est l'étude de l'articulation entre figement en langue et productivité du registre discursif dans la construction des catégories cognitives. On sera ainsi amené à considérer différents plans :

- celui de la morpho-syntaxe où il s'agira de comparer la diversité des formes en langue relatives au visuel, à l'olfactif, au sonore, étudiée dans le discours littéraire en contraste avec les corpus provoqués recueillis dans d'autres opérations de recherches,

- celui de la sémantique qui permettra l'analyse des champs différentiels des diverses modalités sensorielles,

- enfin le plan discursif conduira à identifier le traitement des modalités sensorielles dans l'économie des règles d'une forme littéraire (entre conformité à un genre et originalité d'un auteur).

### 2.6.2 *Lexiques, discours et connaissances communes, expertes et spécialisées.*

D. Dubois, A. Giboreau, P. Selosse, D. Candel, C. Dacremont, I. Urdapilletta, S. Guerrand

L'interaction des contraintes linguistiques et cognitives, est plus spécifiquement étudiée dans le contraste entre connaissances communes et expertises, et la pratique des langues et discours de spécialité dans l'activité métacognitive et métalinguistique de production de définitions.

On étudie des corpus de définition communes, ou de définitions expertes, produites en particulier lors de l'établissement, par des panels d'experts, de normes terminologiques en analyse sensorielle.

Ce travail s'applique actuellement à l'analyse de corpus de définitions relatives au goût, mais également à des bruits très divers (bruits liés à la prise alimentaire, bruits de moteurs...).

## 2.7 Epistémologie et méthodes

Transversalement aux deux séries d'opérations précédentes qui portent sur la constitution de connaissances relatives aux représentations cognitives liées aux phénomènes de sensorialité, les opérations transversales réunies sous cette dernière rubrique concernent davantage le travail de mise au point de méthodologies pertinentes aux objets considérés, et une réflexion sur les modes de constitution des faits et leurs traitements dans ce domaine cognitif.

Un premier ensemble de travaux concernent donc principalement les conditions de recueil des données langagières qui assurent une pertinence et la possibilité de généraliser, à partir de quelques situations particulières, telles les situations expérimentales où le "réel" est représenté, des conclusions sur les modes de traitement "ordinaire" des catégories cognitives.

Le second ensemble concerne davantage les modes de traitement de ces données, le passage du qualitatif au quantitatif, la signification des traitement quantitatifs ainsi que les approches modélisatrices.

### 2.7.1 *Conditions de(re) production des stimulations et de recueil des données linguistiques sur les jugements perceptifs*

Ces opérations de recherche qui s'inscrivent dans la poursuite du travail de C. Guastavino concerne d'une part la "validité écologique" des situations provoquées, la question du "réalisme" des situations de représentations en laboratoire les stimulations du monde réel, et l'évaluation de la qualité de la restauration d'enregistrements sonores dégradés, et d'autre part l'analyse de la situation d'interaction verbale provoquée lors des questionnement ou enquêtes, en regard de productions langagières "spontanées" (s'il en est).

#### 2.7.1.1 Réalités visuelles : descriptions d'espaces visuels naturels et "virtuels"

N. Cavelier, C. Cance, P. Cheminée, A. Giboreau, A. Bardot, (PSA)

La représentation du monde "réel" en situation expérimentale permettant le contrôle de variables impose des mutilations d'éléments jugés non pertinents, et la décontextualisation des éléments jugés déterminants. Cette autonomisation des variables retenues s'opère bien souvent de manière "évidente" sans évaluer dans quelle mesure ce qui n'a pas été pris en compte et s'inscrit dans le "toutes choses étant égales par ailleurs" ne contribue pas de manière déterminante aux traitements cognitifs et ne participe pas à l'identification des catégories.

Ce thème est plus particulièrement abordé dans le cadre de la thèse de C. Cance. Les interactions entre les modalités visuelles (couleurs, formes, matières) qui contribuent à la construction de l'espace intérieur d'un véhicule sont évaluées de manière contrastée en situations naturelles où elles se trouvent intégrées à des matérialités tactiles, à la possibilité d'interactions kinesthésiques, et des situations de "réalité virtuelle" où seules les composantes visuelles sont reproduites soit sur des écrans, soit dans des situations d'immersion en 3D. L'étude repose sur l'analyse comparative des commentaires descriptifs des "mêmes" habitacles automobiles dans ces diverses situations.



2.7.1.2 Evaluation de la qualité de la restauration d'enregistrements sonores dégradés

(Contribution aux opérations de J-M. Fontaine et L. Daudet) P. Resche-Rigon, D. Dubois.

Cette problématique de l'évaluation du réalisme, de la conformité à un "original", ou tout moins une référence trouve également un terrain d'application en acoustique dans la recherche de la satisfaction des souhaits des mélomanes (et de la vente des maisons d'édition) lors de la réédition de documents anciens. L'évolution des technologies ne peut en effet intervenir qu'en étroite interaction avec l'identification de représentation à restaurer qui intègre nombre d'éléments cognitifs qui ont été jusqu'alors peu explorés. Ainsi par exemple qu'attend-on d'une bonne restauration : la reconstitution de l'original, lui-même sans doute insatisfaisant en raison de l'évolution des techniques d'enregistrement, mais dont les "défauts" eux-mêmes sont marque de l'époque ou une reconstitution de ce qui a été produit au delà mêmes des déficiences techniques de l'époque ? Ces questions relèvent ainsi tout autant de jugements sur les objets culturels que de problèmes techniques. On s'appuiera pour aborder ce thème sur les recherches déjà menées dans le domaine pictural et les débats qui n'ont pas manqué de s'y manifester (cf. récemment les discussions sur la chapelle Sixtine), ainsi que sur les travaux expérimentaux sur la qualités des reproductions graphiques.

2.7.1.3 La constitution de corpus provoqués : intérêts et limites

D. Dubois, A. Lammel, C. Grinevald, L. Mondada, M-A. Morel.

On analyse à la fois les problèmes posés par l'influence des consignes et formulations des questions dans les situations d'enquêtes ou dans les situations expérimentales, sur la constitution des corpus provoqués et les conséquences de l'opposition de l'analyse descriptive de terrain et des situations de production langagières provoquées.

2.7.2 *Traitement des données langagières et catégorielles*

J. Poitevineau, D. Dubois, S. David, B. Lecoutre, M.-P. Lecoutre

Si la *constitution des données* ne va pas de soi et pose des problèmes, il en va de même à l'autre bout de la "chaîne expérimentale" en ce qui concerne *l'enregistrement et le traitement des résultats*, pour finalement aboutir à *la constitution d'un fait scientifique*.

2.7.2.1 Statistique descriptive

Nous poursuivons le développement des analyses des structures catégorielles à travers la représentation par *arbres additifs*, modèle privilégié en catégorisation pour rendre compte des hypothèses de la théorie des prototypes. L'accent est actuellement porté sur les analyses de protocoles individuels et les limites d'analyses sur des protocoles agrégés sur les groupes de sujets.

2.7.2.2 Statistique inférentielle et constitution statistique des résultats

Afin de pouvoir accorder un certain degré de généralité aux résultats expérimentaux, l'utilisation des tests statistiques est quasiment obligatoire (dans la plupart des disciplines, et tout au moins pour répondre à des critères de publications).

En ce qui nous concerne, et principalement donc en psychologie cognitive, le test statistique, quand il est dit *significatif*, est utilisé pour définir ce qui est *effectivement observable* (dans le sens de reproductible) ; il aide ainsi à conférer au résultat obtenu son statut de fait scientifique, donc digne d'intérêt pour la communauté des chercheurs et qui méritera d'être "expliqué". *A contrario*, un résultat non significatif (statistiquement) a, en général, peu de chance d'être publié.

Un effet pervers d'une telle utilisation des tests est que l'effet observé, bien souvent, n'est plus jugé qu'au travers de la dichotomie *significatif / non-significatif*, et que l'étude de son intensité est négligée.

Notre insertion au LAM, c'est-à-dire dans le milieu des sciences physiques qui a échappé aux abus associés aux tests statistiques, nous permettra de plus facilement travailler à l'analyse et au développement de méthodes statistiques réellement pertinentes en regard des objets traités.

Les travaux portent sur les méthodes d'analyse statistique des *données expérimentales*, sous un modèle bayésien en particulier, et peuvent se décliner sous les opérations de recherches suivantes (qui, pour la plupart conduisent également à développer des programmes informatiques) :

– Critiques des tests de signification usuels.

Notre analyse conduit à conclure à une pratique socialement adaptée, mais méthodologiquement inadaptée, d'un outil inadéquat dont le mode d'emploi est trompeur.

– Développement de méthodes inférentielles de rechange aux tests de signification usuels.

*Objectif* : fournir des méthodes inférentielles de rechange, générales et adaptées aux besoins réels des utilisateurs.

*Cadre théorique privilégié* : l'inférence bayésienne.

Du test de signification à l'inférence bayésienne

Analyse de l'intensité des effets ("effect size")

*Logiciel* : *LeBayésien*

– L'Analyse des Comparaisons.

Ces méthodes sont mises en œuvre dans le cadre de l'analyse des comparaisons qui comprend :

L'intégration des procédures traditionnelles de l'analyse de variance (tests *t*, *F*, etc.)

Le prolongement par des procédures bayésiennes (et aussi fréquentistes)

*Logiciel* : *PAC (Programme d'Analyse des Comparaisons) Version 2*

– Étude de nouvelles distributions.

Ces travaux nécessitent la dérivation de nouvelles distributions statistiques (dont certaines ont déjà été publiées) :

Psi-deux (ou alternate  $F$ ) (AS278)

Lambda-prime et lambda-deux (ou alternate chi-square)

$K$ -prime et  $K$ -deux

*Logiciel : LesDistributions*

### 2.7.3 *Modélisation cognitive*

Enfin, notre insertion au LAM devrait permettre de renouveler nos perspectives de modélisation des structures catégorielles, en particulier à travers le projet SOS où nous envisageons de coordonner les descriptions physiques, celles du traitement du signal et représentations symboliques de l'intelligence artificielle pour rendre compte des structures cognitives des jugements perceptifs.

## 3 - TECHNIQUES AUDIO

Le thème "techniques audio" voit ses perspectives s'élargir du fait de l'arrivée au laboratoire de Laurent Daudet. Le domaine de recherche de la diffusion audio, qui a vu se concrétiser les investissements des dernières années, poursuit sur la même dynamique. La conservation des enregistrements sonores s'enrichit, quant à elle, des compétences de Laurent Daudet, en ce qui concerne le traitement du signal. De plus, ces compétences nous permettent d'aborder des domaines amonts jusque-là négligés au laboratoire et qui concernent les modèles mathématiques de signaux sonores, en particulier la modélisation des transitoires. Ces modèles intéressent également d'autres thèmes, comme le thème 2 (perception et cognition), dans la mesure où les transitoires jouent un rôle déterminant dans l'identification des sources sonores.

### 3.1 Diffusion audio

#### 3.1.1 *Modélisation des enceintes aux grands déplacements dans les événements*

G. Pellerin, J.D. Polack, J.P. Morkerken

Guillaume Pellerin continue, dans le cadre de sa thèse, à simuler l'écoulement alternatif qui se produit dans l'évent d'une enceinte (cf. bilan thème 3). Le but est d'obtenir une simulation complète de l'enceinte, valable aux forts niveaux sonores, en interfaçant et en injectant les paramètres de charge et rayonnement acoustique de l'évent dans un programme de simulation de circuit électrique (analogie acousto-électrique).

#### 3.1.2 *Interaction enceinte/salle*

J.D. Polack

Quand on déplace une enceinte dans une salle, on observe des variations du niveau sonore restitué, principalement aux basses fréquences. Dans la continuité de l'étude sur l'implantation des haut-parleurs dans une voiture (cf. bilan thème 3), une étude débute sur la caractérisation du champ sonore par une méthode de rayons. Au cours de son DEA qui commence, Pierre Leroy (UTC Compiègne) doit maintenant tenir compte de la taille finie de la membrane et de l'enceinte (effet d'ombre et diffraction).

#### 3.1.3 *Création d'entreprise*

J.D. Polack, J.P. Morkerken

La technologie des tuyères pour la restitution des basses fréquences rencontre actuellement un grand succès auprès de partenaires potentiels (ESA, Région Ile-de-France, etc.). C'est pourquoi nous envisageons très sérieusement la création d'une entreprise sous la houlette d'Agoranov, la pépinière d'entreprise de Paris 6).

## **3.2 Numérisation d'enregistrements sonores**

Fonds sonores relevant du Ministère de la culture et de la communication  
J.M. Fontaine; coll. A. Maulny, MRT - MCC)

Le transfert numérique de collections d'enregistrements sonores initié par le Ministère de la Culture (Mission de la Recherche et de la Technologie) se poursuit dans le cadre des plans successifs de numérisation. Les conditions d'extraction de l'information analogique, de traitements le cas échéant,... sont définies avec les prestataires compte tenu des contraintes rencontrées de diffusion sur l'internet et de préservation de l'information. Un suivi des opérations, des contrôles doivent être exercés afin de valider les conditions humaines et matérielles de transfert autant que nécessaire. Ainsi la continuité des études menées dans ces domaines et les applications est-elle assurée.

## **3.3 Etudes des disques optiques : projet de formation d'un groupe scientifique**

J.M. Fontaine ; coll. extérieures

L'application des techniques de numérisation concerne tous les secteurs d'activité de la société. Le domaine culturel s'est allié ces procédés notamment dans la création (musicale et graphique), la représentation des œuvres qui participe largement à leur diffusion, et la protection des originaux. Instrument de création, de recherche, de communication, de mémoire au service de disciplines qui ne pourraient être toutes citées, les systèmes d'archivage numériques parmi lesquels les disques optiques, jouent un rôle essentiel.

L'appréciation de la notion de conservation à long terme est difficile dans le contexte de renouvellement rapide et incessant des technologies de l'informatique. Contrairement aux domaines traditionnels pour lesquels la protection, la préservation, la restauration des biens patrimoniaux font heureusement l'objet de recherches, de contrôles et d'applications depuis des décennies, la prise en compte de la pérennité des documents existant par la technologie (qui font appel à des instruments d'accès) doit encore convaincre.

C'est dans ce contexte qu'une collaboration est à l'étude entre différents laboratoires pour l'étude des disques optiques comme supports d'archivage, car les atouts de tels supports de stockage sont incontestables :

une capacité de stockage satisfaisante dans de nombreux cas pour un support extractible, qui peut être chargé sur robots,  
un faible coût du support, du graveur et du lecteur (technologies grand-public),  
un support peu encombrant et aisé d'utilisation,  
une durabilité potentielle des substrats,  
un format de codage des données très largement répandu et précisément décrit,  
une très large diffusion qui présage d'une longue durée de vie commerciale.

Les disques optiques bénéficient de formats d'enregistrement très largement répandus. Mais cet avantage, considérable en terme de longévité industrielle (20 ans pour le disque compact toujours bien présent) - que l'on doit à son statut de produit grand public - a une contrepartie : la possible modestie des performances de l'inscription des données, l'irrégularité de la qualité de production, les changements de condition d'enregistrement (vitesse d'écriture notamment). Malgré ces incertitudes, cette technologie est validée pour des applications sensibles, par exemple de caractère juridique (reconnaissante de la valeur probante des données inscrites sur disques WORM) : Norme Z 42-013 AFNOR.

Les caractéristiques initiales et les évolutions de ces disques peuvent être précisément décrites à l'aide des paramètres physiques analysés mais l'interprétation des conditions à satisfaire pour obtenir une bonne qualité de gravure et des phénomènes évolutifs passe par la compréhension des processus de gravure et de dégradation chimique des matériaux.

Le programme d'étude et de recherche construit pour comprendre ces processus est composé des éléments ou actions suivantes.

### *3.3.1 Etude bibliographique, état de l'art*

En premier lieu, puis de façon récurrente telle une veille technologique il conviendra de réaliser une étude bibliographique sur :

- Les domaines concernés : archivage des données, solutions apportées dans différents contextes liés aux volumes, à la nature des données, aux objectifs et contraintes de préservation de l'information.
- Le domaine d'application des disques optiques numériques :
  - Stockage de données informatiques : fichiers, logiciels,
  - Enregistrement et archivage de données numériques spécifiques : son, audiovisuel, multimédia, texte, photos, images, imagerie médicale,...
- Les technologies utilisées et leurs problématiques en terme de conservation de l'information :
  - Les technologies de l'enregistrement optique ; matériaux et mise en oeuvre
  - Les sollicitations d'agression, le vieillissement des polymères

### *3.3.2 Propriétés des disques*

Les éléments, propriétés et caractéristiques physico-chimiques des disques et de certains de leurs constituants seront étudiés et analysés pour :

- Identifier de la nature chimique des produits bruts utilisés et connaître leur propriété de base
- Permettre une éventuelle analyse à partir du disque fini : couche sensible (disques CD-R et DVD-R, vernis CD, adhésif DVD)
- Répertorier et classer les grandes familles de DON sur la base de leur formulation ou composition
- Etudier et connaître le comportement physico-chimique du disque constitué de ses différentes couches

### *3.3.3 Problèmes de la qualité initiale de gravure*

L'interaction entre un graveur et un DON ayant été mise en évidence sans toutefois être totalement expliquée ni maîtrisée, il conviendra d'étudier toutes les sources ou causes de problèmes possibles dont notamment :

- Le graveur : caractéristiques mécaniques, optiques, stratégies d'écriture
- Le processus de gravure : logiciel, graveur, adaptation au disque
- La maîtrise du passage du disque vierge au disque gravé sous condition contrôlée : compréhension des processus thermiques et optiques.

### *3.3.4 Comportement du disque placé dans des conditions environnementales sévères*

Il conviendra aussi de soumettre de façon expérimentale, répétitive et reproductible, les disques à tous types d'agressions physique et mécanique auxquelles ils pourraient être soumis par un usage raisonnablement prévisible.

A cette fin, il sera utile de :

- Définir et valider des protocoles expérimentaux (facteurs d'agression) associant les investigations sur les modalités d'évolution chimique et les modalités d'évolution des signaux opto-électriques.
- Rechercher les corrélations et interpréter les phénomènes de dégradation.

### *3.3.5 Position du problème du vieillissement à long terme*

Au delà de l'utilisation simple et courante des disques soumis par un usage raisonnablement prévisible (Cf. 4.), il conviendra aussi d'étudier toutes les causes et les problèmes liés au vieillissement des DON à long terme.

Pour ce faire, il sera nécessaire de définir et valider des protocoles expérimentaux visant à :

- Déterminer les critères d'évolution chimique versus signaux opto-électriques
- Interpréter les phénomènes fondamentaux d'évolution
- Etablir des classements entre les familles de disques sur des critères de stabilité
- Elaborer une modélisation permettant des extrapolations fondées sur la connaissance des évolutions.

### *3.3.6 Applications*

Les actions résultant de ces travaux seront :

- Faire valoir les exigences du rôle d'archivage sur disques optiques auprès de fabricants concernés ; disposer de disques répondant aux exigences fixées.
- Publier dans des revues spécialisées sur les disciplines concernées
- Communiquer les informations utiles pour les institutions en charge de la numérisation de documents d'archives d'intérêt patrimonial. Cette communication peut passer par l'animation d'un site Web abrité par le Ministère de la Culture.
- Contribuer aux recommandations, au plan international, concernant les modalités d'utilisation et de stockage des supports.
- Etre en mesure de contrôler l'état des collections et d'apporter une aide à la décision de transfert des données (migration) en temps voulu.
- Constituer la première phase d'un observatoire consacré aux systèmes d'archivage à long terme de l'information.

## **3.4 Perception de la restauration des enregistrements sonores**

J. M. Fontaine et D. Dubois, L. Daudet, P. Resche-Rigon

Les enregistrements sonores constituent un patrimoine considérable mais fragile, qu'il convient de préserver tant du point de vue du support (analogique) que de l'information sonore. Ainsi, dans le cadre des plans de numérisation du son lancés par le Ministère de la Culture depuis plusieurs années, des méthodologies ont-elles été définies et appliquées afin d'extraire toute l'information audio disponible.



Par ailleurs, pour répondre aux objectifs concomitants de mise à la disposition du public de ces fonds (mise en ligne, édition,...), il est généralement nécessaire d'appliquer des traitements afin de remédier aux insuffisances des conditions d'enregistrement et/ou aux altérations dues à la dégradation des supports.

L'évaluation de la perception des modifications s'inscrit dans le cadre des travaux menés sur l'évaluation du "réalisme" par D. Dubois. La problématique de la conformité à un "original" (scène sonore initiale), ou tout au moins à une référence (master) trouve ici un terrain d'application par exemple dans la recherche de la satisfaction des souhaits des mélomanes (et de la vente des maisons d'éditions) lors de la réédition de documents anciens. L'évolution des technologies ne peut en effet intervenir qu'en étroite interaction avec l'identification de représentation à restaurer qui intègre nombre d'éléments cognitifs qui ont été jusqu'alors peu explorés. Ainsi par exemple qu'attend-on d'une bonne restauration : la reconstruction de l'original, lui-même sans doute insatisfaisant en raison de l'évolution des techniques d'enregistrement, mais dont les "défauts" eux-mêmes sont marqués de l'époque, ou une reconstitution de ce qui a été produit au-delà même des déficiences techniques de l'époque ? Ces questions relèvent ainsi tout autant de jugements sur les objets culturels que de problèmes techniques. Les opérations de restauration peuvent être évaluées à partir des matériaux sonores issus de ré-éditions lorsqu'on dispose des documents de référence, elles peuvent être étudiées également par des traitements contrôlés menés de manière expérimentale (logiciels de débruitage).

Cette étude se propose d'aborder l'évaluation des conséquences des différents choix techniques possibles de restauration du son. Cette évaluation sera entreprise à partir de la comparaison de la réception de différents groupes « d'experts » de différents types de choix de restauration, à partir de matériaux sonores spécifiés.

En préalable, pour déterminer avec précision la nature des choix proposés les différentes fonctions de la restauration sonore seront analysées en identifiant la nature des enjeux, et leur spécificité en relation par exemple avec les recherches menées sur ce thème en archéologie, ou dans le domaine pictural.

### **3.5 Restauration des cylindres d'orgue**

L.Daudet, et coll.

Les cylindres d'orgues automatiques forment un patrimoine d'une grande importance muséologique, mais aussi musicologique, car donnant de précieuses indications sur l'esthétique de l'interprétation, dans un large répertoire sacré et profane couvrant l'ensemble du XIX<sup>ème</sup> siècle. De nombreux cylindres sont aujourd'hui disponibles, sans qu'il soit possible de les lire, que l'orgue correspondant soit disparu, inconnu, ou – le plus souvent – en mauvais état de fonctionnement. On aimerait donc disposer d'un lecteur universel de cylindres, qui permette de déterminer rapidement la musique correspondante. Nous nous proposons ici d'évaluer une méthode optique, avec l'aide d'une caméra CCD linéaire, ce qui a l'avantage d'être non destructif et facilement adaptable à différents formats de cylindres. Une

grande partie du travail réside dans le traitement des images obtenues : extraction de notes individuelles, correspondance avec les hauteurs, alignement temporel.

Ce travail est fait en collaboration avec Odile Jutten (Université de St Etienne), Denis Bouchet (Musée de la Musique Mécanique, Les Gets) ; ainsi qu'Olivier Romain du Laboratoire d'Instrumentation et des Systèmes (LISIF) pour l'expertise en systèmes optiques.

### **3.6 Les insectes xylophages**

(L.Daudet, J.M. Fontaine)

La collaboration entreprise depuis 1999 avec le LRMH (Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques) et la société 01dB a permis, grâce au travail de plusieurs stagiaires, la mise au point matérielle et logicielle d'un prototype d'appareil de détection (cf bilan).

Une importante étape à effectuer maintenant consiste à améliorer la partie algorithmique car le détecteur actuel ne permet pas de distinguer une faible activité d'une activité nulle. Une phase non moins importante sera ensuite consacrée en la validation expérimentale de ce protocole, associant des connaissances sur les insectes (Muséum National d'Histoire Naturelle), sur le bois (LRMH, organisme spécialisé CTBA) et les signaux émis (LAM) afin d'élaborer un système de détection (société 01dB), outil de diagnostic fiable à l'usage des restaurateurs du mobilier et des monuments nationaux. Il est envisagé que cette synthèse de connaissances et ce travail de validation soit effectué par un chercheur post-doctorant.

### **3.7 Compression audio et analyse des signaux transitoires Mathématiques des représentations sonores**

(L. Daudet)

En vue de divers traitements à effectuer sur des données audio numérisées (analyse, restauration sonore, compression pour stockage, etc ...), il est souvent nécessaire d'obtenir des représentations sonores qui soient « efficaces », selon un critère d'optimalité à définir. Avec les progrès récents en traitement du signal et en particulier l'apparition de nouvelles techniques d'analyse « atomique » de type temps-fréquence (transformée de Gabor) et temps-échelle (transformée en ondelettes), plusieurs constatations se sont imposées. En premier lieu, la méthode d'analyse doit dépendre du type d'application envisagé : l'analyse de type Fourier local est bien adaptée pour les composantes tonales du signal, mais représente mal les phénomènes très localisés en temps (pour lesquels les transformées de type ondelettes peuvent sembler mieux adaptées). En second lieu la transformée doit très souvent être adaptative,

c'est-à-dire que la méthode d'analyse elle-même doit se modifier en fonction des caractéristiques locales du signal. Les applications de ces techniques sont extrêmement nombreuses, tant pour les sons musicaux que pour d'autres types de signaux dans la gamme audible, par exemple les sons environnementaux .

### *3.7.1 Compression audio*

Nous nous intéresserons particulièrement à un problème type du traitement du signal : **la compression audio**, ou comment réduire au maximum la taille des fichiers sonores sans que la perte de « qualité sonore » ne dépasse un certain seuil (ce projet rejoint ici le thème 2 du laboratoire). A cet effet, nous cherchons à développer des méthodes originales de représentations parcimonieuses des signaux (c'est-à-dire faisant appel à peu de coefficients dans le domaine transformé). Le modèle employé est de type multi-couches, où tout signal musical est représenté comme la somme d'une composante tonale (décomposé dans une base de cosinus locaux), de d'une composante transitoire (décomposé dans une base d'ondelettes) et d'une composante stochastique (localement stationnaire). L'espace de représentation étant redondant (c'est-à-dire mathématiquement possédant plus d'éléments qu'une base), il faut imposer des contraintes supplémentaires afin que la décomposition soit unique. Ici, nous imposerons que ces décompositions soient « structurées », c'est-à-dire que la localisation temps-fréquence(/échelle) des atomes représentatifs forment des structures simples : lignes spectrales pour la partie tonale, arbres dyadiques pour les transitoires. En vue de la compression, ces structures possèdent l'avantage de permettre un codage simple des adresses (indices des coefficients significatifs). Il s'agit donc de passer d'une représentation « atomique » à une représentation « moléculaire » des sons !

D'autres critères d'optimalité peuvent être considérés : on peut chercher par exemple à maximiser la compacité de la représentation (mathématiquement, à minimiser la norme L1) ; un des approches que nous allons poursuivre est l'application de techniques d'optimisation statistique (collaboration avec le Dr. Mike Davies de l'Université de Londres).

### *3.7.2 Analyse des transitoires*

Les méthodes multi-couches décrites ci-dessus nécessitent la mise au point de méthodes spécifiques à la détection et la représentation de signaux transitoires. Ces types de signaux ont jusqu'ici été peu étudiés, bien qu'ils soient d'une grande importance perceptive dans la notion de timbre musical. Nous cherchons donc à étendre ces notions, en cherchant des méthodes spécifiques à l'analyse de ces signaux transitoires. Plus qu'une unique méthode, nous développerons un éventail d'outils qui pourront être adaptés à chaque application et éventuellement combinés: techniques temporelles (évolution de l'énergie locale), fréquentielles (métriques spectrales), temps-échelle (ondelettes, paquets d'ondelettes), statistiques (modèles de prédiction). Les applications en sont nombreuses dans le domaine musical (analyse de l'influence des transitoires d'attaque sur la qualité du timbre, débruitage des signaux ne modifiant pas l'attaque des sons, etc...), mais dépassent largement ce contexte (cf. projet de détection acoustique d'insectes xylophages).

## *Projets*

## **V - Annexe : Bilan du LCPE**



## 1 - CONTEXTE THEORIQUE : SEMANTIQUE, CATEGORISATION ET COGNITION

Cette thématique inscrite dans la dynamique des sciences cognitives concerne l'étude des relations entre langage et cognition, et plus particulièrement les phénomènes de catégorisation. Elle s'est développée à partir des années 90, dans le cadre de l'équipe "**Langages Cognitions, Pratiques et Ergonomie**", URA CNRS 1575. Progressivement, à partir des résultats obtenus dans le domaine de la catégorisation, l'accent a davantage porté sur les interactions entre les catégories sémantiques et le lexique.

À partir des choix théoriques explicites, l'objectif de ce thème – à l'encontre d'une conception qui majore le rôle des contraintes perceptives sur la langue et leur description dans les discours des sciences naturelles – est de prendre *également* en compte le rôle les contraintes produites par les systèmes symboliques dans l'articulation des structures cognitives individuelles et des structures cognitives collectives, et donc la sémantique des langues.

Par ailleurs, nous avons fait le choix d'une approche "**située**" prenant en compte les pratiques, ce qui implique de se centrer sur le rôle des phénomènes **sémiotiques et sémantiques**, aspects minorés voire ignorés par le modèle cognitiviste classique de la cognition, basé sur la réduction du sujet à un système de traitement d'une information adéquatement décrite dans le langage scientifique et relevant en dernière instance de présupposés ontologiques.

Chacun des domaines concernés est envisagé dans notre perspective, avec le souci de ne pas oblitérer, dans la recherche des invariants, (voire même des universaux), la prise en compte de la **variation et de la diversité des conceptualisations associées à la diversité des pratiques y compris langagières (lexicales et discursives)**.

Ainsi, les divers plans d'analyses des langues et de la cognition sont pris en compte :

- leurs matérialités (diversité des contraintes cognitives exercées selon les supports des langues (orales, écrites, informatisées),
- leurs structures et formes abstraites envisagées du point de vue de la morphologie, de la morphosyntaxe ou des possibilités de compositions syntaxiques,
- les niveaux sémantiques et cognitifs, individuels (liés à l'expérience sensible) et collectifs (liés à l'appropriation des connaissances partagées, communes ou spécialisées).

Nos données empiriques sur les "catégories sémantiques naturelles" et les réflexions théoriques sur ce concept, nous ont permis d'établir les conclusions suivantes (Dubois, 2000,).

2001, Dubois & Grinevald, 1999 ; 2000, 2003 ; Poitou & Dubois, 1999, Dubois & Rouby, 2002 ; Dubois & Poitou, 2003 pour différentes synthèses) :

- le concept de catégorie naturelle s'inscrit principalement dans une conception référentialiste de la langue, conçue comme nomenclature " posée " sur les " choses " ;

- il majore la dimension visuelle des représentations du monde ;

- il ignore la diversité des pratiques, à partir desquelles se constituent les connaissances communes et savantes, et pour lesquelles la dénomination constitue un processus essentiel, à partir du moment où celle-ci est posée comme pratique langagière.

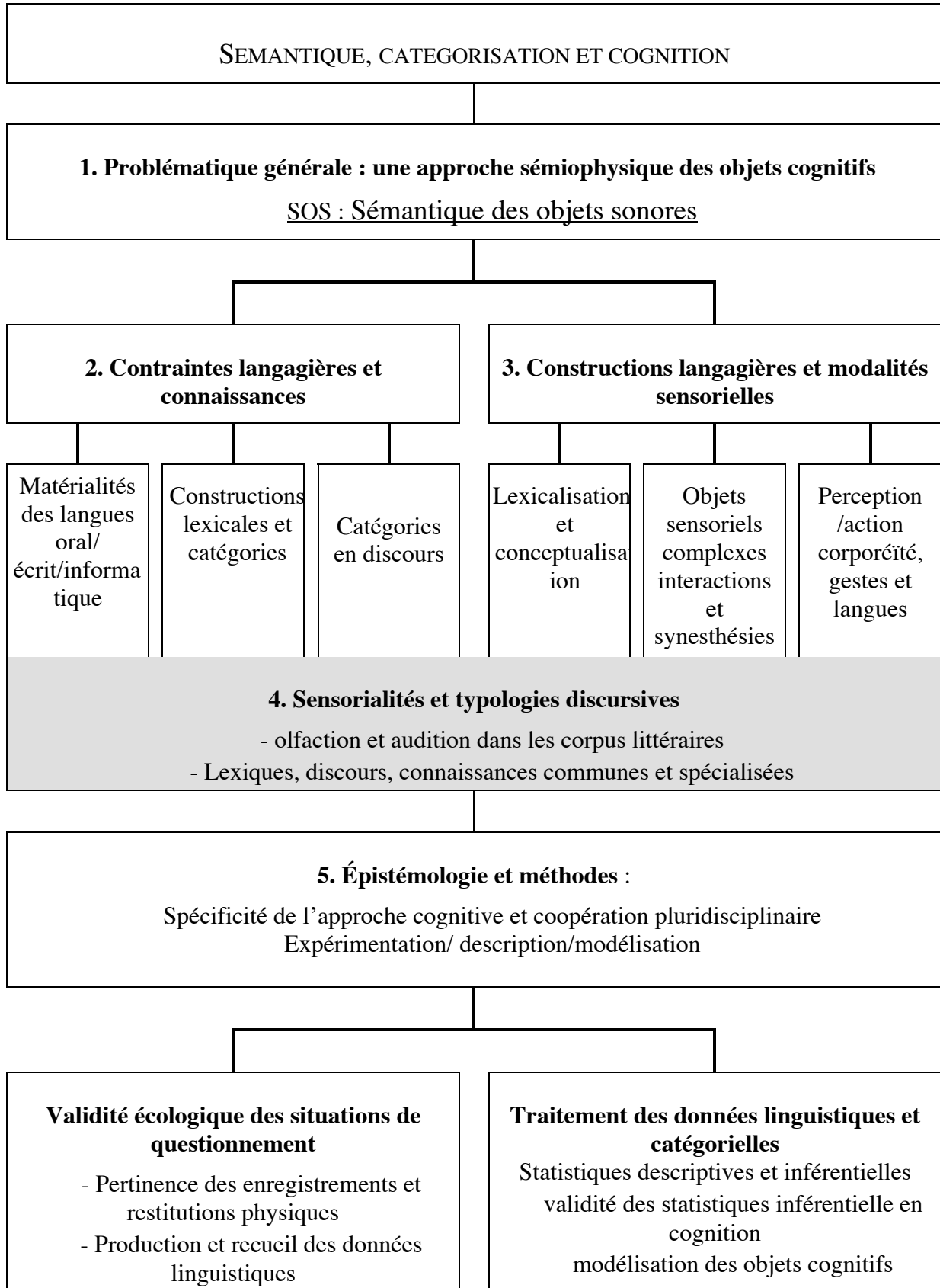
À partir de ces résultats, et de cette mise en perspective davantage préoccupée de la notion de signification que d'information, les recherches du LCPE se sont progressivement élargies depuis une dizaine d'années à des phénomènes de catégorisation relevant d'autres modalités sensorielles que la modalité visuelle.

D'abord dans le domaine **olfactif** (en étroite collaboration avec les laboratoires de neurophysiologie de Lyon 1 et de linguistique de Lyon 2), nous avons montré que les " objets " olfactifs non lexicalisés en français étaient des catégories instables et non partagées comme connaissances (David et al., 2000, Dubois 2000), l'accord entre les personnes intervenant principalement sur le caractère contextuel des jugements portés sur ces objets y compris dans leur " dimension " hédonique, et sur l'identification de la source odorante. L'odeur ne serait donc pas constituée comme objectivité au même titre que la couleur, mais davantage comme indice de " quelque chose ".

La difficulté de dénommer des odeurs en français par des formes lexicales simples (et des noms en particulier) non seulement remet en cause les modèles dominants en sémantique lexicale (Dubois & Rouby, 2001; Rouby et al. 2002) mais rend également problématique les modes de questionnement et pose ainsi, de manière plus générale, des problèmes méthodologiques d'exploration des représentations cognitives construites à partir des diverses sensibilités.



# Organigramme du LCPE



## 2 - BIBLIOGRAPHIE (1999-2002)

### 2.1 Publications majeures

- David, S., Dubois, D., C. Rouby, 2000, Lexical Devices and the Construction of “ Objects : a Comparison between sensory modes, in A.K.Melby & A.R. Lommel, (éds.), *LACUS Forum XXVI, The Lexicon*, 225-236.
- David, S., Dubois, D., Th. Pfuhl, 1999, "Automatic Emergence of Categories from Linguistic Descriptions Using FXS", *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 2 (<http://www.elsevier.nl/locate/dam>).
- Dubois, D. (2002) Informations, représentations, connaissances, et significations : des objets en question dans les sciences cognitives, in J.B. Berthelin (éd.), *Du sujet : théorie et praxis*, Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 97-106
- Dubois, D. Rouby, C. (2002) Names and categories for odors : the veridical Label, Rouby, B. Schaal, D. Dubois, R. Gervais, A. Holley, (éds.) (2002) *Olfaction, taste and cognition*, Cambridge University Press, Cambridge, 47-66.
- Dubois, D., (2001), Catégorisation, langage et identité : représentations individuelles et constructions symboliques partagées, in A.-M. Costalat-Founeau, *Identité sociale et langage : la construction du sens*, L'harmattan.
- Dubois, D., (2003) “ Concepteurs aménagés, gestionnaires ” n° spécial d'Urbanisme, Juillet 2003
- Dubois, D., 1999, "Comment l'homme communique-t-il ?", in A. Weill-Barais, (éd.), *L'homme cognitif*, Paris, PUF, 197-298.
- Dubois, D., 2000, "Categories as acts of meaning: the case in olfaction and audition", *Cognitive Science Quarterly*, 1, 35-68. (<http://www.iig.uni-freiburg.de/cognition/csq>)
- Dubois, D., Cance, C. (2001) Linguistic resources and ontologies across sense modalities. A Comparison between color, odor, and noise and sound, actes du colloque, 23<sup>rd</sup> annual conference of the cognitive science society, Édimbourg, Aout 2001.
- Dubois, D., G. Hilaire, (2002) Tables de propriétés pour des exemplaires typiques, et non-typiques appartenant à vingt-deux catégories sémantiques, *Cahiers du LCPE*, 5, mars 2002, 119-133.
- Dubois, D., Grinevald, C., (1999), "Pratiques de la couleur et dénominations" *Faits de langues*, 14, 12-25.
- Dubois, D., Grinevald, C., 2000, "Dénominations of colors in practices", in A.K.Melby & A.R. Lommel, (éds.), *LACUS Forum XXVI, The Lexicon*, 237-246.
- Dubois, D., Poitou, J., (2002) Les “ normes catégorielles ” : sémantiques et :ou listes de mots, *Cahiers du LCPE*, 5, mars 2002, 7-34.
- Dubois, D., Poitou, J., (2002) Normes catégorielles pour vingt-deux catégories sémantiques en français et dix catégories en allemand, *Cahiers du LCPE*, 5, mars 2002, 35-118.
- Dubois, D., Klumpp, N., M.-A. Morel (2002) Geste Mouvement action. Analyse lexicale et sémantique des concepts, in B. Bril & V. Roux, *Le Geste technique*, Technologies, Idéologies, Pratoique, Vol XIV, n°2, 14-28.
- Dubois, D., Mondada L. (2003) “Quand dire c'est faire la ville” n° spécial d'Urbanisme, Juillet 2003
- Dubois, D., Resche-Rigon P. (2003) Les Villes sensibles, Des perceptions à la construction du sens n° spécial d'Urbanisme, Juillet 2003
- Dubois, D., Rouby, C., 2001, "Naming and categories for odors: the veridical label revisited", in, C. Rouby, B. Schaal, D. Dubois, R. Gervais, A. Holley (éds.), *Olfaction, Taste and Cognition*, Cambridge University. Press

- Guastavino C., Dubois D., Polack J.-D., Arras C., Etude sémantique de la perception des basses fréquences dans les bruits de transports terrestres, *Acoustique et Techniques*, Sept. 2001
- Lecoutre M.-P., Poitevineau J., Lecoutre B., 1999, "An experimental study of the uses and misuses of null hypothesis significance tests among psychologists and statisticians", *Bulletin of the International Statistical Institute, ISI 99*, 58 (2), 201-202.
- Lecoutre, B., Lecoutre, M.-P., Poitevineau, J., 2001, Uses, abuses and misuses of significance tests in the scientific community: Won't the Bayesian choice be unavoidable?, *International Statistical Review*, 69, 399-417.
- Lecoutre, B., Poitevineau, J., 2000, "Aller au delà des tests de signification traditionnels: Vers de nouvelles normes de publication", *L'Année Psychologique*, 100, 683-713.
- Lecoutre, B., Poitevineau, J., Derzko, G., Grouin, J.-M., 2000, "Désirabilité et faisabilité des méthodes bayésiennes en analyse de variance: application à des plans d'expérience complexes utilisés dans les essais cliniques", in I. Albert & B. Asselain (éds.), *Biométrie et Méthodes bayésiennes*, 14, Paris, Société Française de Biométrie, 1-23.
- Lecoutre, M.-P., Poitevineau, J., Lecoutre, B., 2003, Even statisticians are not immune from misinterpretations of Null Hypothesis Significance Tests. *International Journal of Psychology*, 38, 37-45.
- Mondada, L., Dubois, D. Construction des objets de discours et catégorisation : une approche des processus de référénciation (Trad Espagnole)
- Mzali, M., Dubois, D., Polack, J.-D., Letourneaux, F., Poisson, F. (2001) Étude de la qualité du confort acoustique dans les transports ferroviaires : analyse sémantique de questionnaires ouverts, Actes du 5ème congrès français d'acoustique, 3-6 septembre, Lausanne.
- Mzali, M., Dubois, D., Polack, J.-D., Letourneaux, F., Poisson, F. (2001) Mental representation of auditory comfort inside trains :methodological and theoretical issues, Acte du congrès Inter-noise, La Haye, 27-30 aout 2001.
- Poitevineau, J., Lecoutre, B., 2001, Interpretation of significance levels by psychological researchers: The .05 cliff effect may be overstated, *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 847-850.
- Poitou, J., Dubois, D., 1999, "Catégories sémantiques et cognitives. Une étude expérimentale en sémantique lexicale", *Cahiers de lexicologie*, 74, 5-27.
- Resche-Rigon, P. (2003) Lecteurs, historiens, écrivains de la ville in *Images de la ville n° spécial d'Urbanisme*, Juillet 2003.
- Resche-Rigon P. et coll. (1998) Étude de la qualité sonore des espaces verts de Paris, rapport de recherche, LCPE/Ville de Paris,
- Resche-Rigon, P. (2003) Itinéraires commentées n° spécial d'Urbanisme, Juillet 2003.
- Rouby, C., Schaal, B., Holley, A., Dubois, D., Gervais, R. (Éd.) (2002) Olfaction, *Taste, and Cognition*,., Londres, Cambridge University Press.

## **2.2 Communications avec actes**

- Castellengo, M., Besnainou, Ch., Dubois, D., 1999, "Acoustic quality of musical instruments and categorization", Proceedings of the 137th Meeting of the Acoustical Society of America and forum acusticum, Berlin, 14-19 mars 1999, 1217.
- Dubois, D., 2001 "The XII Conference of the european Society for cognitive psychology Edimbourg, 5-8 sept 2001.
- Dubois, D., 2002 "Sense & sensibility" Proceedings of International Semiotics Congress, Univerisiy of Bremen, 26-28 Septembre.2002

Dubois, D., 2003 Boston

Dubois, D., 2001, "Lexique(s) et catégories : de la perception individuelle aux connaissances partagées", in T. Cabré & J. Feliu, (éds.), *Terminologia y Cognition. II*, Simposio Intenational de Verano de Terminologia, IULA Universitat P. Fabra, Barcelone, 13-16 Juillet 1999, 15-37.

Dubois, D., David S., Maffiolo, V., Mzali, M., Resche-Rigon, P., 1999, "Visual properties of garden soundscapes in Paris", Proceedings of the *106th Convention of the Audio Engineering Society*, Munich.

Dubois, D., David, S., 1999, "A cognitive approach of urban soundscapes", Proceedings of the *137th Meeting of the Acoustical Society of America et forum acusticum*, Berlin, 14-19 mars 1999, 1281.

Dubois, D., Resche-Rigon, P., 1999, "Categorization and Naming for Colors, Smells and Noises", Proceedings of the *European Conference on Cognitive Science*, Sienne, 27-30 octobre 1999, 393-398.

Dubois, D. "" The 4<sup>th</sup> Pangborn Sensory Science Symposium, Dijon, 21-23 Juillet 2001

Guastavino C., Dubois, D., Polack J.-D., Arras C., Low frequency perception in urban soundscapes. A cognitive approach, 17th ICA - Rome - sept. 2001 - papier 4B.16.02 (2p.)

Guastavino, C., Katz, B., Dubois, D., Pollack, J.-D., Arras, Ch. (2002) Perception of background noise in urban soundscapes. International Workshop on ambient environment, Nantes Feb 2002.

Lecoutre, M.-P., Poitevineau, J., Lecoutre, B., 1999, An experimental study of the uses and misuses of null hypothesis significance tests among psychologists and statisticians. *Bulletin of the International Statistical Institute*, ISI 99, Contributed papers, Tome LVIII, Book 2, 201-202

Lecoutre, B., Poitevineau, J., 2002, Inférence statistique causale sur les effets individuels : quelques éléments de réflexion. *15<sup>èmes</sup> Journées de Psychologie Différentielle* (session *Psychométrie et méthodologie*), Rouen, 11 septembre 2002.

Maffiolo, V., Castellengo M., Dubois, D., 1999a, "Is pleasantness for soundscapes dimensional or categorical ?", Proceedings of the *137th Meeting of the Acoustical Society of America and Forum Acusticum*, Berlin, 14-19 mars 1999, 943.

Maffiolo, V., Castellengo, M., Dubois, D., 1999b, "Qualitative judgments of urban soundscapes", *Internoise 99*, Fort Lauderdale, Florida, 6-8 décembre 1999, 1251-1254.

Maffiolo, V., Mzali, M., David, S., Dubois, D., Resche-Rigon, P., 2000, "Qualité sonore des jardins publics de la ville de Paris", *Actes du 5<sup>ème</sup> congrès français d'acoustique*, Lausanne, 3-6 septembre 2000.

Mzali, M., Dubois, D., 2000, "Apport d'une approche psycho-linguistique dans la caractérisation du confort acoustique", *Journée Gène ou agrément : vers la qualité sonore*, Bron, 30 mars 2000.

Mzali, M., Dubois, D., Polack, J.-D., Letourneaux, F., Poisson, F., 2000a, "The acoustical comfort inside trains: the passengers' point of view", *Internoise congress*, Nice, août 2000.

Mzali, M., Dubois, D., Polack, J.-D., Letourneaux, F., Poisson, F., 2000b, "Etude de la qualité du confort acoustique dans les transports ferroviaires: analyse sémantique de questionnaires ouverts", *Actes du 5<sup>ème</sup> congrès français d'acoustique*, Lausanne, 3-6 septembre 2000.

Rovira, K., Lecoutre, M.-P., Lecoutre, B., Poitevineau, J., 2002, Qu'entend-on par "hasard" ? Interprétations intuitives et degré d'expertise en probabilités. *15<sup>èmes</sup> Journées de Psychologie Différentielle* (session *Psychologie différentielle de la cognition*), Rouen, 12 septembre 2002.

Vogel, C., Dubois, D., Polack, J.-D., Castellengo, M., 1999, "Perception and meaning of warning signals in two urban contexts", Proceedings of the *137th Meeting of the Acoustical Society of America and Forum Acusticum*, Berlin, 14-19 mars 1999.

## 2.3 Conférences invitées

- Dubois, D., 1999a, "Lexical representations for colors, smells and noises : referential or/and shared meaning ?", Centre de linguistique romane, Université de Copenhague, 22 avril 1999.
- Dubois, D., 1999b, "Lexiques et catégories : de la perception individuelle aux connaissances partagées", II simposio internacional de terminologia : *La circulación del conocimiento especializado*, Barcelone, 13-16 juillet 1999.
- Dubois, D., 2000a, "Sensibilités et cognition : perceptions et connaissances", PSA, Vélizy, 28 janvier 2000.
- Dubois, D., 2000b, "Sémantiques, psychologies et physique : en quel sens ?", EVS, Paris 24 février 2000.
- Dubois, D., 2000c, "Autour de Brent Berlin", journée organisée par P. Descola, Collège de France, Paris 30 mars 2000.
- Dubois, D., 2000d, "Ecological categorization for smell : structures and principles of cognitive categorization", ISOT, Brighton, 19 juillet 2000.
- Dubois, D., 2000e, "Categories as acts of meaning : the case for olfaction and audition ?", Department of cognitive science, Humboldt University, Berlin, 15 décembre 2000.
- Dubois, D., 2001a, "La catégorisation cognitive : conceptualisation et historique depuis Rosch", journée du Laboratoire de neuropsycholinguistique J. Lordat : *La catégorisation dans tous ses états*, Toulouse, 19 janvier 2001.
- Dubois, D., 2001b, "Lexicalisation et construction des catégories sensibles par la langue et la "cognition"", journée du Laboratoire de neuropsycholinguistique J. Lordat : *La catégorisation dans tous ses états*, Toulouse, 19 janvier 2001.
- Dubois, D., 2001c, "Catégories lexicales et catégories cognitives: des noms, des verbes." CELGA, Centre d'Études de linguistiques générales et appliquées, Coïmbra, Portugal, 7 mars 2001.
- Dubois, D., 2001d, "Catégories lexicales et catégories cognitives : des noms, des verbes et d'autres ?", CELGA, Centre d'Études de linguistiques générales et appliquées, Coïmbra, 8 mars 2001.
- Dubois, D., 2001e, "Connaissances communes et connaissances spécialisées : où est la différence ?" simposio internacional de terminologia, Valence, 5 sept 2001.
- Dubois, D., David, S., 1999, "Représentations lexicales des odeurs", ENSIA et club d'analyse sensorielle, 20 mai 1999.
- Dubois, D., Poitevineau, J., 2000, "Réponses sensorielles : des temps de réactions aux données verbales", Société d'anthropologie de Paris, 13-15 janvier 2000.
- Gauvain-Picquard, A., Marsiglia, C., Dubois, D., Poitevineau, J., 2000, "Comparative study of drawings of people in pain or not by children aged from 4 to 10 years", *ISPP2000, The 5th International Symposium on Paediatric Pain*, London, 18-21 Juin 2000.

## 2.4 Autres publications

- Maffiolo, V., Dubois, D., 2000, "Modalités du confort et leurs interactions", Document SNCF, juin 2000.

## **3 - ENSEIGNEMENT ET FORMATION A LA RECHERCHE**

### **3.1 Conférences dans le cadre de la formation à la recherche**

Dubois, D., 1999a, " Aspects psychologiques et linguistiques du comportement alimentaire : entre perceptions et connaissances ", 4<sup>ème</sup> année INA, Paris, 4 janvier 1999.

Dubois, D., 1999b, "Sémantique cognitive et catégorisation nominale Catégorisation et dénomination : lexiques et discours.", DEA Sciences du langage, Lyon II, 7 décembre 1999.

Dubois, D., 2000a, "Psycho-acoustique : perceptions, connaissances et langages.", École Centrale de Lyon, 14 mars 2000.

Dubois, D., 2000b, "Odeurs et parfums, bruits et sons : catégories naturelles ou artefacts ?", Séminaire *Techniques et pratiques*, F. Jouliau, EHESS, Collège de France, Paris, 17 mars 2000.

Dubois, D., 2000c, "Olfaction : sens et signification", Séminaire de sémiotique, Universités de Paris III / Paris IV, Sorbonne, 22 mai 2000.

Dubois, D., 2000d, "Des consignes pour le recueil de corpus : situations expérimentales “ naturelles ” et situations provoquées", Séminaire commun de M.-A. Morel, Université de Paris III-FRE 2173, 13 novembre 2000.

Poitevineau, J., 2003, "Traitements par arbres additifs de distances obtenues à partir de données catégorisées", Séminaire commun de M.-A. Morel, Université de Paris III-FRE 2173, 3 février 2003.

### **3.2 Directions de thèses**

#### *3.2.1 Thèses en cours*

Caroline Cance (Paris III, CIFRE/PSA) “ Du discours à la perception : représentations cognitives et linguistiques des différentes sensibilités et perception des espaces complexes ”.

Gaëlle Delepaut (Paris III, CIFRE/SNCF) “ Sémantique du concept de confort global dans les trains grandes lignes ”.

#### *3.2.2 Thèses soutenues (1999-2003)*

Corsin Vogel (codirection avec J-D. Polack, 5 octobre 1999) “ Etude sémiotique et acoustique de l’identification des signaux sonores d’avertissement en contexte urbain.

## *Bilan du LCPE*

Valerie Maffiolo (codirection avec M. Castellengo, 6 octobre 1999) “ De la caractérisation sémantique et acoustique de la qualité sonore de l’environnement urbain ”

Jean Philippe Meije (codirection avec G. Caelen-Haumont, Grenoble, Juin 1999) “ Indices mélodiques de parole et chronométrie : un essai de validation des processus cognitifs en lecture ”

Géraldine Hilaire (Université de Lyon II, 07 janvier 2000) “ Approche psycholinguistique de la dénomination d’objets naturels et manufacturés à partir d’images, de bruits et d’odeurs : le cas des patients Alzheimer ”.

Manon Rimbault

Myriam Mzali (Université de Paris VI) “Perception de l’ambiance sonore et évaluation du confort dans les trains” septembre 2002

Catherine Guastavino (Université de Paris VI, codirection avec J-D. Polack) “ Perception des basses fréquences dans l’environnement urbain ” Janvier 2003

Alain Devewey : (Lyon II) “ Questionnements, consignes et dénominations : étude chez les patients Alzheimer ”.

Myriam Mzali (Paris VI, codirection avec J-D. Polack) “ Etude des phénomènes de basses fréquence et gêne perceptive : qualité acoustique embarquée dans les rames ferroviaires ”.

Pierre Van Elslande (Paris V) “ Dynamique des connaissances, catégorisation et attentes dans une conduite humaine située ”.

### *3.2.3 Jurys de thèses et de HDR*

Chrysanthe Nathanail (Université du Maine, 5 octobre 1999) “ Influence des informations visuelles sur la perception auditive : conséquences sur la qualité acoustique des salles ”.

Pascal Gaillard (Université de Toulouse le Mirail, 11 janvier 2000) “ Etude de la perception des transitoire d’attaque des sons de steeldrums particularités acoustiques, transformation après synthèse et catégorisation ”.

Montserrat Ribas (Université de Barcelone, 7 mars 2000) “ Discurs parlamentari i representacions socials ”.

Abdoulaye Yoda (Université de Paris VIII, 5 juin 2000) “ Cohérence locale, coordination globale et modèle dyadique. Études développementales du raisonnement sériel et catégorique chez l’enfant et l’adulte ”.

Philippe Selosse (Paris IV, 11 décembre 2000) “ Un aspect de l’épistémè de la Renaissance : méthode et "nomenclature" dans l’œuvre botanique de Caspar Bauhin (1560-1624) – une approche linguistique ”.

Anne Faure (IRCAM, 13 Décembre 2000) “ Des sons aux mots, comment parle-t-on du timbre musical ? ”.

Lorenza Mondada (Habilitation en Allgemeine Sprachwissenschaft und romanische linguistik, avril 2000) “ Formes linguistiques et dynamiques interactionnelles : la construction des objets en discours ”.

Marie Luce Honeste (HDR Université Jean Moulin, Saint Etienne, 20 décembre 2000) “ Approche cognitive de la sémantique lexicale ”.

Vincent Rioux (Thèse Université Chalmers, Göteborg, Suède, 5 mars 2001) “ Sound quality of organ pipes : an interdisciplinary study on the art of voicing ”.

Bueno (Thèse de l’Université de Provence) “ L’activation automatique de la mémoire sémantique ”.

### *3.2.4 Autres*

Maitrise Paris III-ILPGA : "Lexicologie", 2000-2001.

Encadrement de travaux de maitrise Paris III-ILPGA "Lexicologie", 2000-2001.

Maitrise et DEA Lyon II (resp. C. Grinevald) "Sciences cognitives", 1999-2000.

DEA IRCAM "Option Psycho-acoustique", 1999-2001.

## **4 - ORGANISATION DE MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES**

### **4.1 Séminaire commun "Langues et pratiques langagières", avec EA 1483 "Recherches sur le français contemporain" (M.-A. Morel, Paris III) - FRE 2173**

- 13 novembre 2000 - "Problématiques du recueil des données : situations spontanées et provoquées"
- 27 novembre 2000 - "Problématique du traitement des données (quantitatif, qualitatif, modélisation)"
- 11 décembre 2000 - "Problématique des supports : oral / écrit"
- 8 janvier 2001 - "Invariance et variation dans les pratiques langagières"
- 22 janvier 2001 - "Variance et invariance en langue"
- 12 mars 2001 - "La couleur / les couleurs"
- 26 mars 2001 - "Méthodologie(s)"
- 14 mai 2001 - "Questions d'intonations"
- 28 mai 2001 - "Variance et invariance en langue (suite)"
- 25 nov 2002 – "Analyse linguistique d'un parcours olfactif"
- 12 mai - "Analyse des concepts de gestes et mouvements"
- 3 février 2003- "Traitements par arbres additifs de données catégorisées"
- 24 février 2003 "Plan locutoire et délocutoire chez Damourette et Pichon"

### **4.2 Journées du LCPE**

- Journées " *Lexiques, terminologies et cognitions* ", 1-2 décembre 1999 (avec M. Diki Kidiri, LLACAN, UMR7594).
- Journée " *Nomino* ", 13 juin 2000.
- Journée " *Termes, lexiques et discours* ", 26 juin 2000.
- Journée " *Arbres, classes, distances* ", 29 avril 2002.



### **4.3 Séminaires du LCPE**

- 18 juin 2001 Danièle Dubois Autour de Wirbieszka ”
- 28 juin 2001 Sophie David Principes et pratiques des logiciels d’analyse du discours
- 16 nov 2001 Lita Lundquist (Business school-Copenhague) Approches lexicales discursives et cognitives de la notion de génome
- 30 nov. 2001 Marie-Joséphine Cuenca (Université de Valence) & Elke Van der Meer (Université Humboldt, Berlin) Connaissances langagières et discours de spécialité 1
- 8 déc 2001 Christina Cacciari (Université de Modène) Analyse comparative des verbes de perception en français et en italien
- 21 mars 2003 -Joël Candau (Université de Nice) : Mélodies harmoniques et langage des odeurs :structure et description des savoirs-faire olfactifs.
- 25 avril 2003 Anne Gotman (CNRS) : Un exemple d’analyse sémantique de contenu
- 23 mai 2003 Alain Blanchet (Paris 8) – Du contenu au discours
- 6 juin Monika Koncova (Université de Bratislava) : Analyse contrastive des expressions linguistiques de la sensibilité en français et en slovaque.
- 20 juin Luca Greco (CNRS- Paris 3) Les pratiques de la catégorisation de la douleur dans les appels au SAMU : un exemple d’analyse catégorielle.

## **5 - ACTIVITES EDITORIALES**

### **5.1 Cahiers du LCPE**

- n°3 : "*Expériences individuelles et savoirs collectifs. Questions de méthodes*", 1999.
- n°4 : "*Espaces sensoriels et formes lexicales*", 2000.
- n°5 : “ Normes catégorielles et classes lexicales ” mars 2002
- n°6 “ Arbres, classes, distances déc 2002 ”

### **5.2 Comités de rédaction**

D. Dubois est membre des comités suivants :

- Comité scientifique de la collection *Sciences du langage et de la communication*, Peter Lang.
- Edition d'un numéro spécial *Terminologie Nouvelle* (avec M. Diki-Kidiri, S. David et J. Poitou).
- Comité de rédaction d'*Intellectica*.

## **6 - DIFFUSION, VULGARISATION**

D. Dubois, S. Guerrand, "Evaluation du confort acoustique à bord des trains : approche psycholinguistique", Actes des *Troisièmes rencontres du marketing sensoriel " donner un sens à son produit "*, Eurosyn developpement, 2000, 25-43.

Diffusion de logiciels informatiques :

- B. Lecoutre, J. Poitevineau. PAC (*Programme d'Analyse des Comparaisons*): *Guide d'utilisation et manuel de référence*, 1992, Montreuil, France: CISIA-CERESTA.
- B. Lecoutre, J. Poitevineau. *LeBayésien, LesDistributions, LesEchantillons, LesEffectifs, LesProportions, LesImplications. Programmes Windows pour l'inférence bayésienne*, 1996. Ces programmes existent en versions française et anglaise (avec documentation) et sont disponibles sur Internet.

## **7 - EXPERTISES**

D. Dubois est membre :

- du Comité d'évaluation de l'équipe du CELGA, Coïmbra (Portugal).
- du Comité d'évaluation des demandes ANRT des bourses CIFRE.

## **8 - PROGRAMMES SCIENTIFIQUES EN COOPERATION**

D. Candel, D. Dubois :

- Participation au Réseau "Connaissance, langue et discours spécialisés", Xarxa temàtica de Coneixement, llenguatge i discurs especialitzat, réseau financé par la Generalitat de Catalunya.

D. Dubois :

- Projet "Verbalisation et apprentissage" au sein du Programme CNRS-OHLL "Origine de l'Homme, du Langage et des Langues", en collaboration avec V. Roux (Paris X) et B. Brill (EHESS).
- Participation au Programme "Connaissances spécialisées et traduction" en collaboration avec L. Lundquist (Business School of Copenhagen).
- Participation au Programme "Categorisation" en collaboration avec J. Hampton (City University, Londres).

## **9 - ÉQUIPES DE RECHERCHE PARTENAIRES**

- EA 1483 "Recherches sur le français contemporain", Université Paris III (M.-A. Morel).
- UMR 9945 "Laboratoire d'Acoustique Musicale", Université Paris VI (M. Castellengo).
- UMR 5020 "Neuro-sciences et systèmes sensoriels", Université Lyon I (C. Rouby).
- DDL, UMR 9961 "Dynamique du langage", Université Lyon II (C. Grinevald).
- UMR 1563 "Ambiances architecturales et urbaines", École d'architecture de Nantes (M. Peneau).
- INRETS (D. Fleury).

## **10 - PARTENARIATS INDUSTRIELS, CONTRATS**

Danièle Dubois est responsable scientifique de :

- SNCF, Analyse lexicale des catégories de la notion de confort, 2000.
- SNCF, Analyse linguistique d'enquête sur le confort acoustique, 2000.
- Encadrement Bourse Cifre, SNCF, Catégories sémantiques de l'acoustique, 1999-2001.
- SNCF, Catégories sémantiques de l'acoustique, 1999-2001.
- SNCF-Prédit, Études sémantiques et perception sensorielles, 1999-2001.
- Nestlé, Représentations cognitives de la glace, 2000-2001.

Contrats en instance de signature :

- SNCF, Analyse des catégories sémantiques de la notion de confort dans des corpus de questionnaire.

- SNCF, Analyse des catégories sémantiques de l'olfaction dans des corpus de questionnaire.
- PSA, Catégories sémantiques de la perception visuelle, bourse Cifre PSA/CNRS.
- SNCF, Recherche sur le confort global à bord des trains grandes lignes.
- SNCF, Recherche concernant le développement d'une méthode d'analyse des composants du confort.

## **Liste détaillée des contrats :**

Contrat SNCF, 2000

Analyse lexicale des catégories de la notion de confort.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 90 000 F.HT.

Contrat SNCF, 2000

Analyse linguistique d'enquête sur le confort acoustique.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 39 763 F.HT.

Encadrement Bourse Cifre-SNCF, 1999-2001

Catégories sémantiques de l'acoustique.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 75 000 F. HT.

SNCF, 1999-2001

Catégories sémantiques de l'acoustique.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 227 130 F. HT.

SNCF-Prédit, 1999-2001

Etudes sémantiques et perceptions sensorielles.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 143 000 F. HT.

Nestlé, 2000-2001

Représentation cognitive de la glace.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 83 274 F.HT.

SNCF (mai 2001)

Analyse des catégories sémantiques de la notion de confort dans des corpus de questionnaires.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 240 000 F.HT.

SNCF (juin 2001)

Analyse des catégories sémantiques de l'olfaction dans des corpus de questionnaires.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 200 000 F.HT.

PSA (mai 2001)

Catégories sémantiques de la perception visuelle.

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 100 000 F. HT.

Bourse Ciffre PSA/CNRS (2001-2003)

Encadrement Bourse Ciffre.

Perception visuelle et représentation d'un habitacle

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2

Montant : 22867 F€ HT.

Ministère de la santé (2002) (En collaboration avec Danièle Candel UMR 7597)

Étude : la qualité entre quête de sens et formalisation

Responsable scientifique : Danièle Dubois, DR2, et Danielle Candel, CR1

Montant : 12746 € H.T.