

Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II

Habilitation à diriger des recherches

Présentée par Patrick Susini

Le design sonore :
un cadre expérimental et applicatif
pour explorer la perception sonore

Soutenance prévue le 10 juin 2011 devant le Jury composé de :

Mme Solvi Ystad	Rapporteur
M. Etienne Parizet	Rapporteur
Mme Michèle Castellengo	Rapporteur
M. Benoit Fabre	Examineur
M. Stephen McAdams	Examineur

Remerciements

Je remercie Michèle Castellengo, Solvi Ystad, Etienne Parizet, Benoit Fabre et Stephen McAdams, d'avoir accepté d'être membres du jury pour évaluer mon travail de recherche pour l'obtention d'une Habilitation à Diriger des Recherches.

Je remercie l'ensemble des membres de l'équipe Perception et design sonores, Nicolas Misdariis et Olivier Houix, sans qui ces travaux n'auraient pu être menés.

Je remercie également toutes les personnes avec qui j'ai pu collaborer, notamment au cours des thèses que j'ai pu encadrer : Guillaume Lemaitre, Clara Suied, Julien Tardieu et Aurélie Frère.

Je suis très reconnaissant à Hugues Vinet, dont le soutien appuyé m'a permis d'accomplir ce travail, ainsi qu'à Steve McAdams pour sa complicité et ses encouragements constants.

Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai pu échanger et amorcer ma réflexion sur le design sonore, notamment Bernard Delage dès 1997, et Frédérique Guyot, avec qui j'ai organisé les deux premiers colloques en design sonore, en 2002 et 2004.

Je remercie enfin Florence Marcadent pour son soutien permanent, jusqu'au dernier point.

Table des matières

I. DEFINITION D'UN CHAMP DE RECHERCHE EN DESIGN SONORE	7
I.1 Introduction : objectifs, principes et démarche du design	8
I.2 Evolution vers le design sonore	9
I.2.1 Contexte	9
I.2.2 Faire entendre une intention : la fonction et la forme	10
I.3 Un processus globale de design sonore	12
I.3.1 Articulation entre perception et design sonores	12
I.3.2 Le processus global de design sonore : analyse, création et validation	13
I.3.3 Un cadre expérimental et applicatif pour explorer la perception sonore	14
I.3.4 Hypothèse pour la conception de « nouveaux » sons	15
I.6 La dimension sonore dans les interfaces homme-machine	17
I.7 La dimension sonore des objets du quotidien	18
I.8 La dimension sonore pour favoriser une interaction avec les objets	19
I.9 La fonction sonore : du feedback à l'interaction	19
2. PERCEPTION DU SON D'UN OBJET DU QUOTIDIEN	22
2.1 Introduction : un objet d'étude récent - contexte et définition	23
2.2 Différentes stratégies d'écoute	25
2.3 Différents niveaux de description : indices acoustiques et causaux	27
2.3.1 Influence de l'expertise d'un auditeur et de sa capacité à identifier un son	27
2.3.2 Imitations gestuelles	29
2.3.3 Imitations vocales	31
2.4 Recensement, organisation, et description	32
2.4.1 Les classes de descripteurs du timbre	33
2.4.2 Les classes de profils dynamiques et la sonie	35
2.4.3 Les classes d'événements sonores	38
2.5 Implication pour le design sonore	40
2.5.1 Elaboration d'un cahier des charges perceptif	40
2.5.2 Organisation de bases de données sonores	41
2.5.3 Contrôle de la synthèse	41
2.5.4. Design de systèmes interactifs	41
3. LA FONCTION DU SON DANS UN PROCESSUS DE DESIGN SONORE	43
3.1 Introduction : la fonction sonore	44
3.2 Adéquation fonction - son : études préliminaires sur les son d'IHM	45
3.3 Les alarmes sonores	46
3.4 Application au design sonore d'IHM dans le domaine automobile	48

3.5 Le son, vecteur d'interaction	49
3.5.1. Les dispositifs interactifs sonores	49
3.5.2. « Mapping sonore » pour un dispositif interactif	49
3.5.3 Un cadre expérimental nouveau	51
3.5.4 Influence de la dimension sonore sur la manipulation d'un dispositif : le Spinotron	52
3.5.3 Influence de la dimension sonore sur la réponse émotionnelle : le Flops	53
3.5.2 Influence du « mapping » sonore sur l'utilisation d'un clavier : ATM	54
CONCLUSIONS	56
PERSPECTIVES	58
REFERENCES	59

Introduction

Nous présentons dans ce document nos travaux sur la perception des sons dans le cadre du design sonore. Nous proposons tout d'abord une définition du design sonore et un processus à partir duquel nous articulons des recherches en perception sonore et des applications en design sonore (Partie 1). Puis nous traitons de thématiques de recherche sur la perception du son des objets du quotidien (Partie 2) étendues aux sons d'interfaces homme-machine, en nous intéressant plus particulièrement à la fonction du son dans une interaction avec un dispositif interactif (Partie 3).

Partie I



[Série des I Mac Apple]

I. Définition d'un champ de recherche en design sonore

La partie I présente tout d'abord une définition du design sonore et la mise en œuvre d'un processus en trois phases, tous deux élaborés au sein de l'équipe Perception et design sonores de l'Ircam. Ce processus s'articule autour de recherches menées dans le domaine de la perception sonore. Puis nous introduisons les thématiques de recherche qui nous ont paru cohérentes avec les champs d'application du design sonore concernant les objets industriels et les interfaces homme-machine.

1.1 Introduction : objectifs, principes et démarche du design

Anne Meyer, conseillère en design, formule les objectifs du design ainsi : « Ses objectifs visent à faciliter et améliorer les usages, les comportements, et le cadre de vie, enfin, à embellir, tant que faire se peut, l'environnement » (2004).

Le design recouvre donc une double notion :

- ce qui peut être un modèle et qui place l'objet dans une recherche plastique, et a pour objectif de rendre l'objet toujours attrayant : la forme ;
- ce qui peut se projeter et que l'on demande au produit par rapport au besoin qui a été défini pour un usage donné : la fonction. « La fonction est indispensable à tout objet, même le plus futile » (Philippe Starck)

Un des grands principes du design a longtemps été le fonctionnalisme qui peut s'exprimer ainsi : la forme découle de la fonction ou plutôt de toutes les fonctions (« Form Follows Function », Louis Sullivan, architecte, 1860). En d'autres termes, derrière une apparence formelle, il existe toujours une intention fonctionnelle. La fonction principale implique des fonctions secondaires qui donnent les grands traits de la forme finale. Pour illustrer ce principe prenons l'exemple de la Deck Chair (1850) - ou transat - qui a été créé à l'origine pour les passagers dormant sur les ponts des Transatlantiques, c'était là sa fonction principale. En découlent des fonctions secondaires : elle doit aussi permettre de s'asseoir durant la journée et pouvoir être rangée facilement, et par conséquent, elle doit être manipulable et légère. Cet exemple montre bien que la forme de la Deck Chair - appréciée de nos jours dans différents contextes, au bord d'une piscine ou dans un jardin - provient des contraintes fonctionnelles de l'objet. Le design repose alors sur une articulation entre la fonction et la forme.

La démarche du designer industriel - contrairement à une démarche qui serait artisanale - s'appuie sur une analyse et une prévisibilité des caractéristiques, des particularités et du comportement du produit dans la situation d'usage et dans les relations avec l'environnement ; « Le designer se distingue, dans la production industrielle, par sa capacité à transformer un ensemble de contraintes antagonistes en un produit lisible et utile » (Roger Tallon).

L'analyse du designer repose sur une approche interdisciplinaire mettant en jeu ingénierie, psychologie, ergonomie et marketing. L'ergonomie de conception basée sur une analyse de l'activité est un élément méthodique clé pour atteindre un bon design. A propos de la conception du train Corail pour la SNCF, Roger Tallon avait adopté une démarche basée sur une analyse de l'activité, à l'époque principalement pratiquée en Angleterre ; « Nous avons

réalisé un prototype roulant dans une ancienne voiture SNCF, où nous avons longuement filmé les réactions des passagers ».



Figure 1.1 : Amélioration de l'ergonomie des bus Anglais par Ogle design, GB, 1980.

Pour finir, les objectifs et la démarche sont spécifiques aux domaines d'applications du design : design de produits, design d'espace, design graphique et plus récemment design d'interface. Dans le cadre du design sonore, nous serons également amenés à définir des objectifs et une démarche.

1.2 Evolution vers le design sonore

1.2.1 Contexte

La dimension sonore a été peu considérée dans l'histoire du design du 20^{ème} siècle. Au Bauhaus, dans les années 30, quelques expériences avaient été faites pour relier l'étude des formes à la musique ou au théâtre, mais le « basic design » traditionnel est longtemps resté principalement visuel.

Le son est surtout exploité et travaillé pour le théâtre puis pour le cinéma. Au début du 20^{ème} siècle, Luigi Russolo propose des machines pour simuler des sons naturels ou produits par l'homme (trains, bombes, ...) dans des performances théâtrales ou musicales. Ses machines seront utilisées au théâtre pour créer des effets sonores réalistes. Il faudra attendre 1972 pour voir apparaître la dénomination de « sound designer » dans le cinéma nord américain, dénomination attribuée à Walter Murch pour son travail sur les films THX 1138 de Georges Lucas et sur *Apocalypse Now* de Francis Ford Coppola. Walter Murch définit le terme « sound designer » ainsi : « Well, if an interior designer can go into an architectural space and decorate it interestingly, that's sort of what I am doing in the theater. I'm taking the three-dimensional space of the theater and decorating it with sound. I had to come up with an approach, specifically for *Apocalypse Now*, that would make that work coherently. In my case, that was where "sound designer," the word, came from ». Cela implique que le designer sonore doit être pris en

compte dès le départ du projet au même titre que le monteur en chef ou le chef opérateur, de manière à donner une cohérence à l'ensemble. La notion de cohérence est conforme à la définition officielle¹ du design proposée par T. Maldonado en 1961 à Venise.

En Europe, le son est pris en compte dans la conception industrielle à partir de la fin du 20^{ème}, notamment dans le domaine automobile. Tout d'abord, des efforts importants ont été menés sur la réduction du bruit notamment avec l'antibruit actif, période pendant laquelle on rencontrait des slogans publicitaires du type « la paix n'a pas de prix » (Miele) ou encore « le silence fait l'automobile » (Fiat). A partir du début des années 90, la conjoncture s'inverse. Une demande pour une recherche menée en qualité sonore émerge. L'intérêt provient principalement de l'industrie du transport, de l'industrie des équipements et des pouvoirs publics. Il est motivé par une double nécessité : 1) créer et contrôler des produits de qualité et 2) gérer les environnements urbains pour améliorer notre environnement.

Ainsi, des attentes sont apparues chez de nombreux acteurs. La composante sonore devient un atout. Les slogans d'hier font place à de nouveaux slogans : « chaque son a un sens » (Citroën). Très récemment, un exemple frappant est celui de la voiture électrique, laquelle présente un danger pour les piétons parce qu'elle est silencieuse. Le silence devient une « nuisance » au même titre que le bruit. Il devient de ce fait nécessaire de concevoir entièrement le son du véhicule électrique.

Comme en design, les objectifs du design sonore sont spécifiques à chacun des domaines d'application : design sonore produit (véhicule, cosmétique...), design sonore d'espace (architecture, installation...), design sonore d'interface (informatique, aviation...) et design sonore dans les média (jeux, publicité...)

1.2.2 Faire entendre une intention : la fonction et la forme

Une démarche en design sonore sera mise en œuvre dans le but de créer de « nouveaux » sons, qu'on ne peut trouver dans les bases de données sonores existantes, ou qu'on ne peut obtenir par un enregistrement. Ces sons seront créés avec la volonté qu'ils soient entendus dans un contexte d'usage donné.

Ecouter implique, comme le souligne Pierre Schaeffer, une intention. En considérant le processus inverse, nous avons défini le design sonore par une démarche visant à penser la composante sonore dès la phase de définition d'un objet afin de **faire entendre une intention**. Nous considérons qu'il existe, pour reprendre la terminologie spécifique au

¹ « Le design est une activité créatrice qui consiste à déterminer les propriétés formelles des objets que l'on veut produire industriellement. Par propriétés formelles des objets, on ne doit pas entendre seulement les caractéristiques extérieures, mais surtout les relations structurelles qui font d'un objet ou d'un système d'objets une unité cohérente, tant du point de vue du producteur que du consommateur ».

domaine du design, deux types d'intention correspondant au tandem complémentaire forme et fonction.

Dans le cas de la forme, on s'attache à ce que le son participe à la qualité globale souhaitée d'un objet ; il s'agit de produire un son qui soit agréable ou conforme à une sonorité cible. Ainsi dans la deuxième partie de ce document (Partie 2), nous aborderons la notion de timbre qui définit les caractéristiques acoustiques les plus saillantes permettant de décrire une classe de sons. La connaissance de ces caractéristiques est fondamentale dans un processus de design sonore, car elles constituent les éléments clés pour obtenir un son agréable. C'est pourquoi nous avons défini une démarche expérimentale globale, basée sur la notion de timbre, mettant en évidence ces caractéristiques acoustiques. Elles permettront d'élaborer des spécifications perceptives pour modeler un son afin de le rendre agréable. La notion de cohérence est aussi une notion fondamentale dans certaines réalisations ; par exemple, la réalisation de plusieurs sons pour une interface homme-machine (IHM) nécessitera de conserver une cohérence sonore sur l'ensemble des sons indépendamment de la fonction qui distingue les sons les uns des autres. Il s'agit de conserver une identité sur l'ensemble des sons. La notion de timbre sera de nouveau utile pour définir une signature homogène pour plusieurs sons d'une même IHM.

Dans le cas de la fonction, on considère que le son communique une information nécessaire et utile pour un usage défini ; il s'agit par exemple de prévenir d'un danger (alarme sonore), de confirmer une action (feedback sonore), de guider un usager ou encore de favoriser la manipulation d'un objet (interaction sonore). Dans ce cas, l'information devra être entendue explicitement et interprétée correctement par l'auditeur. C'est l'information perçue qui donne un sens au son. Dans la troisième partie de ce document (Partie 3), nous étudierons l'influence des caractéristiques acoustiques d'une d'alarme sonore sur la réaction d'un auditeur. La connaissance de ces caractéristiques est fondamentale dans un processus de design sonore ; elles constituent les éléments clés pour obtenir un son qui remplisse sa fonction ; dans le cas d'une alarme, il s'agit de « faire réagir un auditeur ». Nous étudierons plus particulièrement des dispositifs interactifs intégrant une composante sonore dynamique dont la fonction est de permettre le contrôle d'un geste pour améliorer des performances, favoriser un apprentissage ou renforcer la dimension émotionnelle d'un objet a priori silencieux (par exemple, le Nabaztag). Le résultat de ces études est fondamental dans un processus de design sonore visant des applications dans le domaine du produit industriel (pour favoriser des manipulations avec un objet), du sport (pour améliorer les performances d'un athlète), de la santé (pour aider à la rééducation d'un patient), de la robotique (pour contrôler le geste d'un opérateur), du jeu (pour renforcer une immersion multi sensorielle d'un joueur), etc.

1.3 Un processus globale de design sonore

Nous définissons ici notre démarche en design sonore basée sur des recherches menées en perception sonore.

1.3.1 Articulation entre perception et design sonores

Une étude en design sonore est entreprise lorsqu'il s'agit de créer ou de modeler un « nouveau » son pour un produit ou un système de communication. Généralement, la création repose sur le « savoir-faire » du designer sonore ou du compositeur ; le designer sonore s'appuie sur des règles esthétiques et sur une forte intuition créatrice qui lui sont propres pour répondre à un cahier des charges. Cependant, il peut bénéficier d'un ensemble de connaissances collectées lors d'une phase précédant la phase de création. Par exemple, la création d'un son d'alarme nécessite des règles de conception ; le designer a besoin de connaître les caractéristiques acoustiques les plus pertinentes perceptivement pour communiquer et discriminer différents niveaux d'urgence. Par ailleurs il sera nécessaire, pour que l'alarme puisse être perçue, de prendre en compte d'éventuels effets de masquage auditif, liés au contexte sonore dans lequel le son créé sera diffusé. Cet exemple souligne qu'un ensemble de connaissances aussi bien sur les mécanismes perceptifs que cognitifs permet d'élaborer des prescriptions pertinentes pour orienter la phase de création. Aussi l'intérêt de combiner des recherches en perception sonore avec des applications en design sonore paraît-il évident.

Par conséquent, l'équipe Design Sonore, intégrée dans les activités de l'Ircam en 1999 par Louis Dandrel, est devenue l'équipe Perception et design sonores depuis 2005. Le nouveau programme que nous avons mis en place porte sur la perception des sons d'objet du quotidien étendus aux sons des interfaces homme-machine (IHM), cela en vue de fournir un point d'ancrage solide au domaine d'application du design sonore. Un rapprochement avec les champs de recherche en psychoacoustique et en psychologie cognitive a donc été renforcé. Nous présenterons ultérieurement les questions en perception soulevées par le design sonore.

Il s'agit donc de proposer une articulation entre des recherches en perception sonore et des applications en design sonore. C'est une approche complémentaire, à la fois scientifique et créatrice, du design sonore. Autrement dit, il s'agit d'une approche interdisciplinaire mettant en œuvre respectivement la connaissance sur les propriétés des sons, plus particulièrement la perception que l'on en a, et la capacité à les reproduire – celle du compositeur. Au cours de nos travaux applicatifs, nous avons opté pour cette approche en collaborant de manière systématique, pour la phase de création, avec un compositeur. Cette démarche s'inscrit de manière cohérente dans la coordination générale menée par l'Ircam entre art et science.

1.3.2 Le processus global de design sonore : analyse, création et validation

Le processus global de design sonore que nous proposons s'articule en trois phases : analyse, création et validation. Ce processus est illustré sur la figure 1.2.

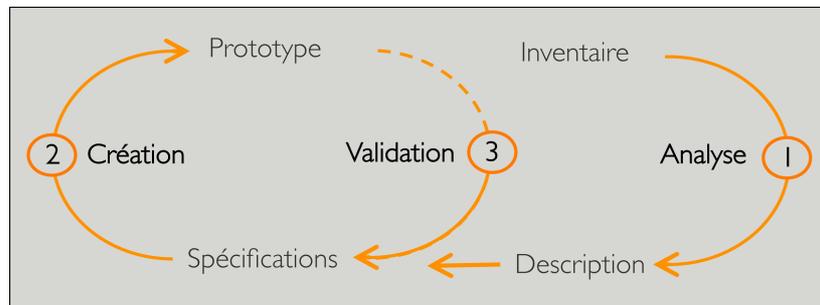


Figure 1.2 : Processus global d'étude en design sonore

La phase d'analyse a pour objectif d'élaborer des spécifications pour la phase de création. Notre hypothèse dans le cadre de la conception de sons est que l'information nécessaire est en partie « disponible » dans notre environnement sonore. Aussi, la phase d'analyse consiste-t-elle à explorer et exploiter un ensemble de sons, obtenus à partir d'un inventaire d'objets représentatifs du produit ciblé, puis d'en décrire son contenu au niveau acoustique et perceptif. Par exemple, dans le cadre de la thèse de Guillaume Lemaitre, nous devions créer un nouveau son de Klaxon mais qui reste identifiable comme tel. Dans ce cas, l'objectif de l'analyse a consisté à révéler les caractéristiques acoustiques qui rendent compte de la typicalité d'un son de Klaxon. Cela a donc nécessité de faire un inventaire des sons de Klaxons existants et de faire émerger, par des tests perceptifs, les caractéristiques acoustiques perceptivement saillantes propres à un son typique de Klaxon. Ainsi, les résultats ont permis d'élaborer un ensemble de connaissances nécessaires pour définir des spécifications visant à orienter la phase de création². Le détail de l'étude se trouve dans l'article « The Sound Quality of Car Horns: Designing new representative sounds » par Lemaitre et al. (2009). Nous reviendrons sur cette hypothèse dans la section 1.3.4.

La deuxième phase de ce processus est la phase de création, abordée, dans le cadre de collaborations, par un compositeur prenant en compte l'ensemble des contraintes technologiques et économiques ainsi que les spécifications perceptives élaborées dans la phase d'analyse.

² Une analogie peut être faite avec le caractère prescriptif de la notation musicale qui fournit des indications sur des sons à produire

Enfin, la phase de validation, basée principalement sur une approche expérimentale ou/et métrologique permet de valider le prototype sonore produit ; est-ce que la création sonore correspond à l'intention souhaitée ? Est-ce qu'un son d'alarme répété avec une cadence rapide provoquera une réaction plus rapide ? Sera-t-il jugé avec un niveau élevé d'urgence perçu ?

Ce processus global de design sonore permet de s'assurer que l'intention sous-jacente d'une création sonore sera « visible ». En résumé, l'enjeu est de créer une structure sonore adaptée à nos structures de perception en se basant sur un ensemble de connaissances lors de la phase d'analyse, et de s'assurer que la structure sonore réalisée soit conforme aux attentes lors de la phase de validation. On comprend donc l'intérêt des recherches menées en perception sonore pour le design sonore, tant d'un point de vue des connaissances que méthodologique. Ce processus global est proposé par l'équipe Perception et design sonores comme support pédagogique et comme méthodologie pour la réalisation de projets industriels.

1.3.3 Un cadre expérimental et applicatif pour explorer la perception sonore

Le processus de design sonore procède ainsi d'une démarche scientifique mettant en jeu des connaissances, des hypothèses et un paradigme expérimental. A cette approche se combine la nécessité de produire un son pour un domaine appliqué afin de répondre à un usage donné. L'ensemble des trois phases introduites précédemment constitue un cadre expérimental et applicatif pour explorer la perception des sons. La phase d'analyse est associée à une exploration du champ sonore permettant de répondre à des questions pertinentes sur la perception des sons de façon à émettre des hypothèses pour la phase de conception : quelles sont les stratégies d'écoute mises en jeu ? Quelles caractéristiques sonores faut-il modifier pour obtenir un son agréable ? Quel « mapping » sonore est le plus pertinent pour rendre « visible » une information ? La dimension sonore favorise-t-elle une interaction avec un objet ou une interface ? Les phases de création et de validation sont quant à elle la mise en œuvre de ces hypothèses dans un contexte applicatif. Le design sonore ainsi posé constitue un véritable champ d'expérimentation permettant d'approfondir nos connaissances en perception sonore, de développer de nouveaux outils de conception, et d'adapter des méthodes expérimentales pour un domaine d'application spécifique. Même si les questions relatives aux outils et aux méthodes expérimentales³ demeurent sous-jacentes à l'ensemble des travaux que nous

³ Deux chapitres sont en cours de publication sur les méthodes de la psychologie expérimentale adaptées au design sonore

Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S., « Psychological measurement for sound description and évaluation », In « Measuring the impossible – Theory and methods of measurements with persons », publié par Taylor and Francis, parution prévue en 2011

Giordano, B., Susini, P., Bresin, R. « Experimental methods for evaluation and design of sound-producing objects and interfaces », In « Sonic Interaction Design Book » publié par IMT press, parution prévue en 2011

présenterons ici, nous aborderons principalement les questions relatives à notre perception des sons d'un objet du quotidien (Partie 2), et de la fonction du son dans les IHM et les dispositifs interactifs (Partie 3).

1.3.4 Hypothèse pour la conception de « nouveaux » sons

Le processus de design sonore relève d'un processus de conception similaire au processus de conception d'IHM. Les travaux de recherche menés sur la conception d'IHM mettent généralement l'accent sur la nécessité d'élaborer des spécifications pour la phase de design et de procéder à une évaluation des interfaces réalisées. Les spécifications sont obtenues à partir de l'analyse des tâches effectuées, du contexte d'utilisation et des enquêtes de terrain auprès d'utilisateurs. Au cours de la phase d'évaluation, les utilisateurs effectuent des tests d'usages pendant lesquels il leur est demandé d'utiliser et de fournir des informations sur les interfaces développées, et d'évaluer leur satisfaction. Ces informations sont souvent comparées à des données objectives provenant de mesures liées à l'apprentissage et à la précision avec laquelle les tâches sont réalisées.

Il est communément admis qu'il est difficile, voire impossible, de fournir des spécifications correctes et complètes en amont de la phase de conception, car la réalisation d'une interface repose sur des modèles conceptuels nouveaux dont les fonctionnalités n'ont pas d'équivalent dans le monde physique ; par exemple, lorsque les premiers ordinateurs personnels sont apparus la notion de copie ou l'utilisation d'une souris n'avaient rien d'intuitif. En conséquence, le processus de conception et de développement est généralement mené de manière itérative ; les phases de conception sont suivies par des phases d'évaluation. C'est un processus coûteux mais instructif et nécessaire. Une démarche classique consiste aussi à exploiter les produits commercialisés, mais le marché technologique évolue tellement rapidement qu'il n'est pas réaliste à l'échelle économique d'attendre qu'une analyse des avantages et des inconvénients d'un produit soit réalisée pour en concevoir un nouveau.

Une démarche pertinente consiste alors à exploiter les analogies et contraintes physiques de notre environnement quotidien ainsi que les références culturelles ou conventions de notre société (*The Design of Everyday Things*, D. Norman). L'idée est que, si l'on exploite des informations déjà disponibles dans le monde - analogies avec d'autres objets ou avec des éléments de la nature, ou règles communes à un groupe d'individus -, les caractéristiques du nouvel objet et les actions possibles avec cet objet seront d'autant plus visibles et intuitives.

Dans le cadre du design sonore, c'est cette hypothèse que nous adoptons dans le but de définir les éléments nécessaires à la conception d'un son : il s'agira d'explorer notre environnement sonore afin de tirer profit de nos expériences quotidiennes. Par exemple, différentes études ont montré que nous sommes capables, dans une certaine mesure, d'identifier les caractéristiques

d'un objet par l'audition notamment en ce qui concerne les matériaux (bois, verre, ...). Concevoir un son qui renvoie à un objet en métal nécessite une connaissance sur les caractéristiques acoustiques définissant la classe des objets métalliques de notre environnement. L'idée est similaire lorsqu'il s'agit de définir les caractéristiques acoustiques d'un son agréable pour une classe d'objet. Un autre exemple est de celui des actions perçues grâce au son produit par les objets. Concevoir un son qui communique une information sur une action engagée avec un objet concret ou virtuel nécessite une connaissance, d'une part, sur les actions que nous distinguons par l'audition, et d'autre part, sur les éléments qui permettent de les reproduire avec un son.

Rendre une action intuitive est un aspect essentiel pour la conception d'une interface homme-machine ou d'un objet tangible. Par ailleurs, l'analogie avec les objets de notre quotidien révèle que de nombreuses actions sont traduites par des feedbacks (rétroactions) - sonores ou haptiques - qui sont sources d'information pour le contrôle ou la confirmation d'une action.

Pour illustrer ces deux aspects - rendre une action intuitive et fournir un feedback sur celle-ci - prenons le cas d'un designer qui doit concevoir une console de contrôle pour un robot. Il pourra exploiter des indices spatiaux pour dévoiler les actions possibles permettant de manipuler la manette de contrôle, et par conséquent, rendre l'utilisation de la console intuitive. D'autre part, il pourra utiliser des indices sonores pour produire un feedback sur les actions effectuées. Les propositions pourront alors être les suivantes : le déplacement d'un objet vers le haut sera favorisé en rendant possible un déplacement verticale de la manette de contrôle, et sera affiné en accompagnant le déplacement par une variation du niveau sonore - augmenter le niveau d'un son signifiant « plus », le diminuer signifiant « moins ».



Figure 1.3 : La forme circulaire s'impose parmi les autres [iPod Classic]

Un bon exemple de réalisation commercialisée est celui de la molette de navigation pour se déplacer dans le menu d'un iPod de la marque Apple (figure 1.3). La forme circulaire de la molette invite intuitivement à opérer un mouvement de rotation - sens des aiguilles d'une montre pour descendre dans le menu, sens inverse pour monter. La forme circulaire s'impose parmi les autres. Elle est structurée, la moins compliquée possible, la plus symétrique possible. De plus, le mouvement est accompagné d'un feedback sonore donnant l'impression d'une mollette mécanique crantée grâce à l'ajout d'un son d'impact marquant de manière virtuelle chacun des crans associés à un item du menu.

Les deux exemples précédents de feedback sonore révèlent deux types de relation entre le son et l'information véhiculée qui seront introduites ci-dessous (§1.6) dans le domaine des IHM. Le type de relation engagée soulève, d'une part, la question de la stratégie d'écoute que nous approfondirons dans le cadre de nos travaux présentés dans la Partie 2 de ce document, et d'autre part, du « mapping », que nous traiterons plus particulièrement dans la Partie 3.

1.6 La dimension sonore dans les interfaces homme-machine

La dimension sonore dans le domaine des IHM a principalement été exploitée afin de fournir un feedback sur des actions effectuées par l'utilisateur. Il s'agit de sons sur supports numériques qui présentent l'avantage d'être facilement manipulables et intégrables dans un système d'exploitation gérant l'ensemble des applications et des interactions avec l'utilisateur. Les sons, déclenchés par des processus logiques, permettent de confirmer des opérations effectuées par l'utilisateur (ouverture/fermeture d'un dossier après un double click) ou extérieur à l'utilisateur (réception d'un message, alarme). La question est de définir une relation entre l'information communiquée et le son associé : on parle de « mapping sonore ». Cette notion sera développée dans la troisième partie pour l'étude de dispositifs sonores interactifs (§3.5).

Historiquement, les études menées sur les sons d'IHM ont été traitées par la communauté ICAD (International Community on Auditory Display). Les premiers travaux sur les feedbacks sonores dans ce domaine (Blattner et al., 1989) ont considéré des relations arbitraires entre les caractéristiques d'un son musical (intensité, hauteur, timbre, rythme, durée, ...) et les fonctions d'une interface graphique informatique (fermer, déplacer, détruire un dossier/fichier). Ces relations sous-entendent un apprentissage d'un ensemble de règles plus ou moins implicites - par exemple, la position d'un item dans un menu hiérarchique est associée à une échelle de hauteurs.

Afin de rendre plus explicite la relation entre un son et une fonction de l'interface, il a été proposé de tirer partie d'analogies sonores avec le monde physique (Gaver, 1989) – l'exemple le plus connu est le son d'un papier froissé pour la destruction d'un fichier. L'association repose sur le concept d'une métaphore correspondant à une représentation causale de l'événement

dans un contexte différent ; le feedback sonore produit est bien la conséquence de l'action effectuée dans le monde physique qui prend sens, par analogie, dans un contexte virtuel.

Le premier type de sons sous-entend une écoute praticienne ou une « écoute musicale » basée uniquement sur des caractéristiques acoustiques. Pour le deuxième type de sons, l'écoute est basée sur le principe d'une « écoute quotidienne » (Gaver, 1993a ; Gaver, 1993b) ; l'écoute est focalisée sur l'identification d'un événement - objet et/ou action. Dans un cas, ce sont les caractéristiques du son qui véhiculent le sens de l'action effectuée par l'utilisateur, dans l'autre, c'est l'événement reconnu. Dans la partie 3, nous parlerons respectivement de « mapping abstrait » et de « mapping causal ». Les deux types de feedbacks sonores relèvent des processus perceptifs distincts fondamentaux lorsque l'on aborde la perception du son d'un objet du quotidien.

1.7 La dimension sonore des objets du quotidien

En dehors des sons de la parole, d'animaux, de la nature (vent, vagues...) et des sons musicaux, notre environnement sonore quotidien est peuplé d'objets dont la production sonore est la conséquence d'une activité ; par exemple, passer l'aspirateur, conduire un véhicule, claquer une porte, couper des légumes, trinquer, klaxonner, remplir une bassine, démarrer son ordinateur, etc. C'est précisément cette classe de sons que nous étudions dans la Partie 2 de ce document. Nous serons amenés à préciser la définition dans le cadre de nos travaux, puis, dans la Partie 3, nous l'étendrons à une autre dimension dans le cadre d'une démarche en design sonore en considérant la fonction d'un son dans le contexte d'applications pour les interfaces homme-machine.

L'étude du son d'un objet du quotidien soulève depuis longtemps une question fondamentale : qu'est-ce que l'on entend quand on écoute le son d'un objet ? De nombreuses études basées sur des travaux menés en psychoacoustique et en physiologie ont tenté de caractériser les sons environnementaux par un ensemble réduit d'indicateurs traduisant des sensations auditives élémentaires (sonie, acuité, rugosité...). Cependant, au niveau acoustique, le son des objets est complexe et multiforme : deux sons de véhicule peuvent se distinguer sur des aspects d'intensité, spectraux et temporels qui seront nettement différents de ceux qui caractérisent un son de claquement de porte. Au niveau cognitif, les sons sont souvent perçus comme un renvoi à un objet ou à une action effectuée avec l'objet, ou encore à un contexte donné. Récemment, les outils de synthèse par modèles physiques ont permis d'étendre les recherches menées en psychologie expérimentale sur le son d'objets du quotidien en jouant sur des paramètres « mécaniques » de la source (mode d'excitation, matière, forme). Ces études ont mis en évidence nos capacités, mais aussi nos limites à percevoir des différences en termes de matériaux, tailles et formes d'objets.

Dans la Partie 2, nous présentons notre apport pour approfondir notre connaissance sur la perception des sons d'objets du quotidien. Nous aborderons les différents niveaux de description, allant des caractéristiques acoustiques et temporelles perçues à l'identification de la cause du son, en prenant en compte l'objet, l'action qui à produit le son, et les stratégies d'écoute mises en jeu. Dans ce but, nous procéderons à un inventaire de sons pour aborder différentes classes de descripteurs du timbre (§2.4.1), de profils dynamiques (§2.4.2), et d'événements sonores (§2.4.3). Nous présenterons différentes implications de ces travaux dans le champ du design sonore (§2.5), notamment avec les travaux menés sur le timbre qui ont permis de proposer des spécifications pour améliorer ou créer des sons en accord avec les préférences d'auditeurs.

Par la suite, nos résultats permettront d'élaborer des hypothèses sur le type de « mapping » entre une action effectuée avec un dispositif et un son associé, afin de fournir un feedback sonore favorisant une interaction intuitive avec un dispositif interactif (Partie 3).

1.8 La dimension sonore pour favoriser une interaction avec les objets

Les sons des objets de notre quotidien sont concomitants à des événements physiques, et donc, produits, la plupart du temps, de manière involontaire - par opposition aux sons d'IHM qui sont créés pour être entendus. Ils sont cependant perçus comme un renvoi à un sens : le changement de timbre de notre aspirateur nous informe que le sac est plein ; le rythme du son produit par l'utilisation d'une cuillère avec un bol permet de conserver un mouvement régulier pour obtenir une bonne mayonnaise ; le bon fonctionnement d'un extracteur d'air est confirmé par le son du ventilateur ; le son d'impact d'une balle sur une raquette de tennis nous permet d'ajuster notre mouvement... Le son produit permet ou renforce une interaction entre un objet et un utilisateur, et c'est dans le cadre de ce processus interactif que le son devient porteur de sens, soit parce qu'il permet de confirmer une action, soit parce qu'il permet de contrôler une action lors de la manipulation d'un objet.

Dans le cadre de nos travaux, nous avons abordé la question liée à la signification d'un son lorsqu'il s'agit de communiquer une information nécessaire et utile pour un usage défini. Dans un processus de design sonore, on parlera de la fonction sonore. Nous aborderons cette dimension dans la Partie 3.

1.9 La fonction sonore : du feedback à l'interaction

Considérer le son dans un mode interactif conduit à modifier la place du son dans la conception de nouveaux objets : on ne veut plus le supprimer, ou le rendre uniquement agréable, on veut l'intégrer dans un système intelligent pour communiquer une information utile à un usager. La fonction la plus commune est l'alerte (alarmes sonores, klaxons, sonnettes...). Le système oriente l'attention de l'usager pour que celui-ci agisse ; par exemple, évacuer un lieu, intervenir

pour résoudre un problème, partir à un rendez-vous, sortir un plat du four. La cause du son est déterminée par l'utilisateur à partir d'une information complémentaire : information visuelle, analyse ou connaissance du contexte. Dans la Partie 3, nous présenterons nos travaux de recherches et appliqués sur les alarmes sonores (§3.3).

Une autre fonction courante concerne la confirmation ou la validation d'une action associée, comme nous l'avons indiqué auparavant pour les IHM, au déclenchement d'un processus par le système. De nos jours, cela concerne de nombreuses applications ; par exemple, un son peut indiquer l'envoi d'un message, la destruction d'un fichier, ou encore dans un autre contexte, la validation d'un pass Navigo sur une borne de contrôle. Il s'agit d'un feedback sonore. La compréhension du son est souvent favorisée par l'analogie avec un événement sonore dans un contexte physique. Cependant, la relation entre l'action (par exemple, le mouvement de la souris) et le feedback repose sur un processus indirect (*indirection*) ; il existe une séparation physique entre les deux, et par conséquent, il n'y a pas de manipulation directe responsable du son produit.

De ce point de vue, nous distinguons les sons de feedback d'IHM et les sons de feedback produits par les objets que nous manipulons au quotidien. En effet, la manipulation d'un objet concret engage une interaction sonore directe, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de séparation physique entre l'action et le son de feedback produit. En d'autres termes, le son de feedback est directement produit et dépendant de l'action effectuée ; par exemple, le son produit par un instrument de musique est directement dépendant du mode d'excitation ; le son produit par le claquement d'une porte de véhicule est en relation directe avec le geste effectué pour la fermer. Les caractéristiques du son sont affectées par les actions de l'utilisateur. Par conséquent, le son est perçu dans une boucle combinant action et perception. C'est un processus équivalent à une structure de contrôle réalisée en temps réel ; le son est la conséquence d'une action (la cause du son) laquelle sera ajustée en temps réel en fonction des caractéristiques perçues du son.

La composante sonore couplée à une action devient un atout des produits interactifs du grand public, cela afin de renforcer la réalité physique des contrôles effectués par l'utilisateur ; c'est le cas de la manette de contrôle de la Wii (Nintendo). De nos jours, les possibilités technologiques offertes par la combinaison de modèles physiques de synthèse sonore en temps réel - même s'ils sont encore limités à certains type d'événements (impact, frottement...) - et les systèmes miniaturisés embarqués, comprenant capteurs et microcontrôleurs - par exemple, le système Arduino - permettent la conception de dispositifs interactifs pertinents pour explorer la perception des sons d'objets du quotidien dans un processus interactif. Nous parlerons ici de dispositifs interactifs.

Les travaux présentés dans la Partie 3 de ce document portent sur la signification d'un son que nous associons à la fonction du son dans un processus de design sonore. Deux champs d'investigation seront abordés : les IHM classiques, en considérant deux fonctions courantes - alarme et feedback -, et les dispositifs interactifs mettant en jeu une interaction directe entre l'utilisateur et l'objet manipulé. Nous serons donc amenés à poser et à tester certaines hypothèses quant à la conception des sons. Notamment, les résultats de nos travaux sur le son des objets du quotidien nous conduiront à favoriser une représentation causale lorsqu'une interaction directe est mise en jeu avec les dispositifs interactifs étudiés.

Partie 2



[Sculpture sonore de F. Fradet]

2. Perception du son d'un objet du quotidien

La Partie 2 de ce manuscrit présente les travaux réalisés sur la perception du son d'un objet du quotidien. Nos travaux s'organisent autour de la question des stratégies d'écoute mises en jeu dans un contexte du quotidien ; qu'est-ce qu'on entend lorsque l'on écoute le son d'un objet ? Différentes approches sont abordées : le processus de catégorisation, les relations entre geste et son, et les imitations vocales. Puis nous abordons les différents niveaux de perception et de description, en nous plaçant au niveau acoustique et causal. Dans les deux cas, une organisation des sons du quotidien est proposée. Enfin, nous indiquons des implications de nos travaux pour le design sonore. La synthèse présentée ici reprend des travaux allant de 1999 à 2010 dans le cadre de recherches propres, d'un projet européen (CLOSED), d'un projet ANR (SamplerOrchestrator), et de plusieurs projets industriels (PSA, Renault, SNCF, EDF, Klaxon). Pour le détail des études présentées, nous renvoyons aux articles.

2.1 Introduction : un objet d'étude récent - contexte et définition

Les sons du quotidien ou environnementaux ont été peu étudiés dans le domaine scientifique comparativement aux sons musicaux. Plusieurs raisons structurelles peuvent être évoquées.

Tout d'abord, l'intérêt pour la musique et sa pratique a provoqué des vocations pour la recherche en acoustique musicale ; la composante artistique, on le comprendra aisément, l'emporte sur la composante bruitiste souvent associée aux sons environnementaux. Par ailleurs, un instrument de musique constitue en soi un objet de recherche dont on peut, par définition, contrôler le son, et par conséquent, étudier la perception du son produit, et ce, depuis l'existence des premiers instruments de musique. Les sons environnementaux sont quant à eux, la plupart du temps, des productions non intentionnelles issues des objets de notre quotidien - du moins jusqu'à l'apparition des sons électroniques⁴ ; le manque de contrôle et de reproductibilité ne rend pas aisée la tâche lorsqu'il s'agit de les étudier, même si les possibilités offertes par l'enregistrement, et plus récemment par les supports numériques, ont permis enfin d'aborder des recherches sur la perception des sons environnementaux. De plus, l'apparition d'outils de synthèse sonore, comme les synthétiseurs (le premier synthétiseur Moog est commercialisé en 1964), a permis d'effectuer de nombreuses recherches sur les sons d'instruments de musique, notamment sur le timbre. De tels outils n'étaient pas disponibles pour contrôler, transformer et simuler des sons environnementaux.

Un autre point important concerne la définition et le recensement des objets que l'on souhaite étudier. Les instruments de musique ont fait l'objet d'un recensement et d'une classification à travers les époques et les cultures. En 1914, Hornbostel et Sachs proposent un système de classification dans lequel, pour la première fois, tous les instruments de musique du monde ont été inclus. Les sons environnementaux quant à eux ont longtemps été mal définis - ils le sont un peu mieux de nos jours - et n'ont pas fait l'objet d'un recensement systématique au cours des siècles. Par une approche phénoménologique, sociologique et sensible, le travail entrepris par Murray Schafer (1977) et ses collègues au cours des années 70 - rapporté dans « Le paysage Sonore, la musique du monde » - a permis de proposer un premier système de classification des sons environnementaux. A la même période, Vanderveer (1979) effectue une des premières recherches scientifiques dans le cadre de la psychologie expérimentale sur la perception des sons environnementaux et en définit les limites en proposant une définition.

Vanderveer définit les sons environnementaux ainsi : « ... any possible audible acoustic event which is caused by motions in the ordinary human environment. (...) Besides 1) having real events as their sources (...) 2) [they] are usually more "complex" than laboratory sinusoids, (...) 3) [they] are meaningful, in the sense that they specify events in the environment. (...) 4) The

⁴ M. R. Schafer parle en 1977 des « indicateurs sonores » qui composent un « nouveau paysage sonore »

sounds to be considered are not part of a communication system, or communication sounds, they are taken in their literal rather than signal or symbolic interpretation » (1979, p.16-17). Plus récemment, une définition très générale a été proposée par Gygi et al. (2007, p. 1) : « all naturally occurring sounds other than speech and music ». Cependant, dans le cadre de notre travail en design sonore, la proposition générale de Vanderveer est plus adaptée et plus précise (« any possible audible acoustic event which is caused by motions in the ordinary human environment »). En effet, nous considérons dans le cadre de nos travaux en design sonore les sons autres que la parole (« speech ») et la musique (« music »), mais aussi autres que les sons naturels (« living sounds »), en nous limitant à une certaine classe de sons associés à des objets concrets de notre quotidien, plus particulièrement des produits manufacturés ou artefacts. Le son produit par ces objets est la conséquence d'une manipulation physique (gratter une allumette, choquer des verres, froisser un papier, etc.) ou la conséquence d'un mécanisme entretenu par une source d'énergie (rasoir électrique, ventilateur, véhicule, etc.). Nous parlerons dans les deux cas d'action avec/sur un objet du quotidien.

Nous considérons donc les sons engageant un objet concret et une action. Récemment, Giodamo et al., (2010) ont distingué cette classe de sons des autres sons de l'environnement en les nommant respectivement « action sounds » et « living sounds ». La dénomination la plus courante en anglais concernant la classe que nous étudions ici est « sounding object ». Nous aurions été tentés d'utiliser le terme « objet sonore », mais il est trop polysémique ; il fait bien sûr référence à la notion d'objet sonore défini par Pierre Schaeffer dans le cadre de son travail sur la musique acousmatique, mais il est aussi répandu dans différentes disciplines comme en psychologie où l'objet sonore correspond à une représentation cognitive du son. Nous parlerons simplement *du son des objets du quotidien*, ou parfois, pour faire plus court, *du son des objets*. Nous préférons cette dénomination à celle de *son de l'environnement* qui nous paraît trop imprécise dans le cadre de notre travail puisque cette dénomination peut aussi bien faire référence à un objet qu'à l'ambiance d'un espace comprenant plusieurs sons. D'autre part, lorsque nous parlerons de la représentation cognitive du son d'un objet, nous adopterons la terminologie extraite de la définition de Vanderveer (« audible acoustic event »), et nous utiliserons le terme *événement sonore*.

Par la suite, nous allons nous intéresser aux différents niveaux de description d'un événement sonore allant des caractéristiques acoustiques perçues à l'identification de la cause du son, en abordant tout d'abord les différentes stratégies d'écoute. La question fondamentale est : qu'est-ce que l'on entend lorsque l'on écoute le son d'un objet ? Une voie d'exploration est formulée par Michel Chion : "On entend comme on parle" ("Le promeneur écoutant", 1993, p. 11).

2.2 Différentes stratégies d'écoute

Dans l'introduction de son article « How do we hear in the word ? Explorations in ecological acoustics » (1993), Gaver part d'un exemple dans lequel un expérimentateur demande à un participant de décrire ce qu'il entend⁵. Cet exemple fictif met en évidence un désaccord entre les attentes de l'expérimentateur et la description du participant. La stratégie d'écoute souhaitée par l'expérimentateur n'est pas celle adoptée par le participant. En effet, l'expérimentateur s'attend à obtenir une description des caractéristiques acoustiques alors que le participant décrit l'objet et l'action qui selon lui se déroule.

Or, considérer la perception du son d'un objet uniquement selon une description des caractéristiques acoustiques sous-entend un mode d'écoute non causal et non signifiant. Cela suppose que l'auditeur perçoive le son « pour soi-même » et non comme renvoi à un objet et/ou à un sens ; Pierre Schaeffer avait fait une tentative dans cette direction en proposant, d'une part, la notion d' « objet sonore » - défini par l'auteur comme un son pour lequel on fait abstraction de la provenance ou de la signification - et d'autre part, un certain nombre de qualités sensibles permettant de décrire les caractéristiques de l'objet sonore (masse, texture, dynamique, etc.). Mais faire abstraction de l'objet nécessite, comme le dit Schaeffer, un effort et un entraînement pour atteindre ce que l'auteur appelle une « écoute réduite ». Cependant, notre « écoute quotidienne » (Gaver, 1993) est rarement en mode d'« écoute réduite » ou d'« écoute musicale » focalisée sur les caractéristiques acoustiques du son d'un objet, sauf si nous sommes amenés à formuler un jugement de valeur - j'aime / je n'aime pas. Les caractéristiques acoustiques du son d'un objet du quotidien sont plus souvent traitées comme indices de l'objet, de l'action, voire du geste qui a produit le son. Les réalisations cinématographiques à l'époque du muet ne s'y sont pas trompées en mettant au point quelques procédés pour exprimer les sons : le plus courant était de montrer en gros plan l'image de la source - cloque, sirène, animal, instrument de musique - par un insert visuel revenant périodiquement à l'écran.

⁵ Imagine that you are a subject in a psychology experiment on the perception of complex sounds. Your task is to listen to a series of sounds and write down a brief description of what you hear.

"A single-engine propeller plane flying past," you write in response to the first sound, pleased with yourself for providing so much detail.

The experimenter, on the other hand, is not pleased. He says, with some irritation, "No, no no. Write down what you *hear*, not what you think it is."

"But I heard a propeller plane fly past," you object, "I didn't think about it, that's what I heard."

"You may not have thought about it consciously," he retorts, "but you didn't hear a airplane, you heard a quasi-harmonic tone lasting approximately three seconds with smooth variations in the fundamental frequency and the overall amplitude. That's what I want you to tell me about."

"I don't understand," You persist, though a little hesitantly, "I didn't hear whatever it is you said, I heard a propeller plane,"

The experimenter sighs and explains patiently, "No, you *interpreted* the sound as a propeller plane by matching the incoming stimulus with representations stored in memory. I'm not interested in how people interpret sounds, that's a job for the cognitive boys. I'm interested in how you hear the sound itself. Now try again..."

Il apparaît donc, à travers l'exemple proposé par Gaver, que l'étude de descriptions verbales concernant la perception de sons permet de comprendre les différentes stratégies d'écoute mises en jeu lorsqu'on écoute un son.

Comment parle-t-on des sons ? De nombreuses études basées sur des descriptions verbales ont été menées sur les sons abstraits, musicaux et environnementaux, par des approches combinant psychologie expérimentale et psycholinguistique. Nous ne ferons pas ici un inventaire et une analyse de ces travaux ; la plupart sont décrits dans le chapitre « Psychological measurement for sound description and evaluation » par Susini et al. (2011) publié par Taylor and Francis. Nous indiquons ici les observations issues de deux études. Les travaux de Vanderveer (1979) ont mis en évidence des descriptions verbales majoritairement associées à l'objet, à l'action effectuée sur l'objet, ainsi qu'au lieu où se déroule l'action (le contexte). Dans une étude réalisée en 1960 et restée longtemps confidentielle, R. W. Peters s'intéresse à la description perceptive de différentes classes de sons : sons purs, sons harmoniques, bruits blancs, voix, sons musicaux et sons du quotidien. Les résultats de son étude montrent que le vocabulaire habituellement révélé par la littérature est utilisé par les participants pour décrire les caractéristiques acoustiques des sons présentés, mais de manière surprenante, seulement un tiers environ des participants utilise ce vocabulaire pour décrire le son d'objet du quotidien. Les deux autres tiers des participants utilisent des termes relatifs à l'objet et à l'action perçus. L'étude ne donne pas d'information bibliographique permettant d'expliquer les différences observées entre les participants.

Au cours de ses expériences, P. Schaeffer a défini différents modes d'écoute. Notamment, il oppose une écoute « naturelle » ("tendance prioritaire et primitive à se servir du son pour se renseigner sur l'événement" "qu'est-ce que c'est ?") à une écoute « praticienne » (« qui se spécialise dans une direction d'écoute spécifique ») qu'il qualifie de démarche « antinaturelle », ce que Gaver appelle respectivement « écoute quotidienne » et « écoute musicale ». Il semblerait que ces deux modes coexistent, mais peu de travaux ont permis de mettre en évidence les facteurs responsables du déclenchement d'un mode plutôt que de l'autre. Selon Gaver (1993), la distinction entre ces deux modes d'écoute provient de l'expertise des auditeurs et non des sons. Selon les principes avancés par P. Schaeffer, on peut émettre l'hypothèse que le mode d'écoute mis en jeu dépend de deux facteurs : le premier est lié à l'intention de l'auditeur en fonction de son degré d'expertise (l'expérimentateur vs le participant dans l'exemple fictif de Gaver), le deuxième serait lié au type de son : son abstrait - qui ne renvoie pas un événement - vs son concret - qui renvoie à un événement. Les sons abstraits impliqueraient une « écoute musicale », et les sons concrets, une « écoute quotidienne ».

2.3 Différents niveaux de description : indices acoustiques et causaux

Dans la suite, nous examinons ces deux modes d'écoute. Nous présentons tout d'abord nos travaux dans lesquels sont étudiés les différents niveaux de description d'un événement sonore, allant des caractéristiques acoustiques perçues à l'identification de la cause d'un son, et ce dans un processus de catégorisation, en considérant d'une part l'expertise des auditeurs, et d'autre part leur capacité à identifier un son. Par ailleurs, de nombreuses études ont révélé l'emploi d'éléments du paralangage pour compléter et accompagner une description verbale lorsque nous sommes amenés à communiquer sur des sons : onomatopées, imitations vocales et imitations d'un geste engagé dans une action avec un objet. Aussi, nous aborderons la description d'un événement sonore au moyen de deux nouveaux paradigmes expérimentaux basés respectivement sur des imitations gestuelles et vocales. Tout d'abord, nous nous intéressons aux stratégies gestuelles - mouvements de la main - pour explorer et décrire un son en considérant deux corpus de sons (identifiés vs non identifiés). Puis nous étudions les imitations vocales ; leur capacité à favoriser l'identification d'un son et à révéler les indices acoustiques permettant de distinguer différentes classes d'objets.

2.3.1 Influence de l'expertise d'un auditeur et de sa capacité à identifier un son

Les travaux résumés ici ont été effectués dans le cadre du projet européen CLOSED coordonné par l'équipe Perception et design sonore (<http://www.closed.ircam.fr>). Le détail est présenté dans l'article « Listener Expertise and Sound Identification Influence the Categorization of Environmental Sounds » par Lemaitre et al. (2010).

Nous avons vu que deux modes d'écoute peuvent coexister. Considérer un mode plutôt que l'autre est important lorsque l'on doit créer des sons pour une application, comme par exemple dans le domaine des interfaces homme-machine. Quel mode sera favorisé par les sons proposés par le designer ? Est-ce que les sons proposés sont adaptés au mode d'écoute privilégié par un type d'auditeurs ? L'hypothèse que nous posons est que la stratégie d'écoute mise en jeu dépend de l'expertise de l'auditeur et de sa capacité à identifier l'objet ou/et l'action qui produit le son de l'objet. Autrement dit, il s'agit d'examiner les stratégies perceptives mises en jeu, puis de les confronter aux deux facteurs expérimentaux examinés ici : expertise de l'auditeur, identification de l'événement.

La perception des objets dans notre quotidien peut être vue comme un processus cognitif de catégorisation consistant à organiser les objets par similitudes plus ou moins générales dans un contexte donné. L'organisation des objets en catégories est dépendante des connaissances permettant de relier les concepts décrivant une catégorie aux propriétés perçues des objets. Dans un contexte expérimental, une tâche de classification est supposée rendre compte du processus cognitif de catégorisation ; l'analyse des classes formées permet de révéler les

stratégies perceptives mises en jeu, et par conséquent, d'identifier les indices de similarité entre les éléments d'une classe. L'analyse des résultats des études basées sur une tâche expérimentale de classification de sons environnementaux (Vandevier, 1979 ; Guyot et al. 1997 ; Gérard, 2004 ; Marcell et al., 2005 ; Guastavino, 2007) a permis de révéler trois types de similarités entre les sons des classes formées : similarités acoustiques (timbre, durée, pattern rythmique), similarités causales (objet, type d'action ou d'interaction), similarités sémantiques (lieu, activité). En revanche, aucune donnée disponible n'a permis d'établir un lien entre les stratégies des auditeurs, leur expertise et leur capacité à identifier les sons. L'expérience décrite dans l'article de Lemaitre et al. (2010) confronte ces trois aspects. Nous en donnons ici les grandes lignes.

Dans un premier temps, une mesure d'incertitude causale (Ballas, 1993) basée sur des verbalisations a été obtenue pour 110 sons extraits d'un contexte donné, celui de la cuisine. Cette valeur correspond à la capacité avec laquelle les auditeurs parviennent à identifier correctement l'objet et l'action perçus. Ainsi, une valeur allant de « très difficilement » à « très facilement identifiable » est obtenue pour chacun des sons. Puis, un corpus réduit de 60 sons a été présenté à deux groupes d'auditeurs (respectivement 15 experts dans le domaine du son et 15 non experts) dans une tâche de classification libre. Pour chacune des classes formées, les auditeurs devaient indiquer le type de similarités principalement utilisées : acoustiques (1), causales (2), sémantiques (3), autres (4), aucune idée (5). La figure 2.1 présente les classes formées par un participant non expert ; dans cet exemple, le critère de similarité et les descriptions sont principalement associés à la cause du son.

L'analyse de l'expérience de classification et des descriptions associées en fonction des valeurs de mesure d'incertitude causale révèlent deux stratégies principales de classification ; l'une basée sur des similarités acoustiques, l'autre sur des similarités causales. Le critère acoustique est significativement plus utilisé par les experts que par les non experts. De part leur expérience professionnelle, les experts ont acquis un vocabulaire technique spécifique pour décrire les caractéristiques acoustiques d'un son ; par conséquent, cette connaissance permet de structurer leur représentation cognitive en se référant aux caractéristiques acoustiques des sons. D'autre part, les résultats montrent que le critère acoustique est utilisé par les deux groupes d'auditeurs pour les sons très difficilement identifiables, et inversement, c'est le critère causal pour les sons facilement identifiables. Ces résultats montrent donc que le mode d'écoute mis en jeu dépend de l'expertise mais aussi du type de son (son identifiable vs son non identifiable) contrairement à ce que Gaver avançait (« the distinction between everyday listening and musical listening is between experiences, not sounds » ,1993b, p. 1).

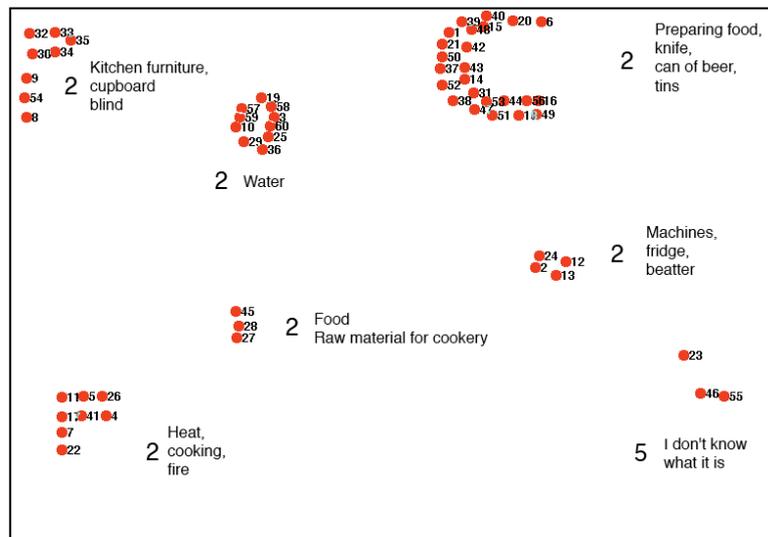


Figure 2.1 : Interface de test présentant le résultat d'un test de classification effectué par un auditeur non expert. Les numéros indiquent la stratégie de regroupement pour chaque classe.

2.3.2 Imitations gestuelles

Comme nous venons de le voir, lorsqu'un son est bien identifié, le mode d'écoute privilégié est un mode d'écoute causal ; en d'autres termes, les caractéristiques acoustiques du son sont traitées comme indices de l'objet et de l'action qui a causé le son. Cependant, les analyses verbales montrent que les descriptions sont plus précises pour l'action que pour l'objet (Vanderveer, 1979 ; Houix et al., 2011) ; un son est plus particulièrement décrit comme le résultat d'une interaction entre deux objets, mais aussi comme le résultat d'un geste produisant le son (Guyot et al., 1997). Existe-t-il une représentation cognitive d'un geste pour un son donné ? Est-ce que le geste produit dépend des contours temporels d'un son ? Le designer sonore peut-il alors favoriser un geste pour interagir avec un objet ?

La reproduction gestuelle d'un son, ou signature gestuelle d'un son, a récemment été étudiée dans le domaine musical. Godoy et al. (2006) ont révélé deux stratégies : la première correspond à une imitation du geste perçu pour produire le son (« mimicking »), la deuxième correspond à un suivi ou à une réaction aux contours du son (« tracing »).

Dans une étude récente (Caramiaux et al., 2011), nous nous sommes intéressés à la stratégie gestuelle engagée pour décrire le son d'objets du quotidien, en partant de l'hypothèse que la stratégie gestuelle associée à un son dépend de la capacité de l'auditeur à identifier la cause du son ; si la cause est bien identifiée, le geste effectué sera une imitation du geste perçu pour produire le son ; dans le cas contraire, le geste effectué sera un geste en réaction au son guidé par les contours du son.



Figure 2.2.a : Son n°2 (grains de riz déversés dans un récipient) « remplir un récipient avec de petites billes »



Figure 2.2.b : Son n° 2 transformé « mouvement de la mer, répétitif, irrégulier, variation d'intensité »

Une série d'expériences consistant à imiter gestuellement des sons a donc été réalisée. Deux classes de sons ont été utilisées : la première correspond à des sons dont la cause est bien identifiée, la deuxième correspond à une transformation de la première de façon à les rendre non identifiables tout en gardant l'enveloppe temporelle du son et en homogénéisant la structure spectrale entre les sons. Les gestes effectués par les participants ont été enregistrés au cours de l'expérience à l'aide d'un système de captation placé au niveau de la main (système ARTrack). Chaque séance était enregistrée au moyen d'une vidéo, et suivie d'un entretien mené en visionnant la vidéo (figures 2.2.a et 2.2.b). Chaque entretien était enregistré.

L'analyse des entretiens pour chacun des corpus révèle deux stratégies. Globalement, pour les sons identifiés, les participants ne sont pas focalisés sur les caractéristiques du signal sonore (timbre, hauteur, contour temporel, etc.), mais s'attachent davantage à la cause en termes d'action et d'objet ; les descriptions des contours temporels et des mouvements associés révèlent que les participants ont principalement effectué un geste correspondant à une action avec un solide qui est, soit un contact soutenu (racler, écraser, verser), soit un contact ponctuel (taper, frapper). L'action effectuée sur l'objet est cependant mieux reconnue que l'objet lui-même. Il semblerait donc que l'audition soit mieux adaptée à la perception d'une action qu'à celle d'un objet. Pour les sons non identifiés, les participants n'ont pas plus reconnu d'action que d'objet précis (« c'est un peu flou », « pas d'objet reconnu », « pas matérialisé un objet », « pas reconnaissable »), et n'ont pas imaginé tenir un objet dans la main (« pas d'objet physique en main », « pas l'impression d'avoir quelque chose en main », « pas d'objet particulier dans la main », « ne tiens pas un objet »). Les images mentales provoquées par le contour temporel des sons sont souvent variables entre les participants (« le mouvement des vagues », « les sabots du cheval », « l'explosion d'un geyser », etc.). Les entretiens mettent en évidence le fait qu'une image mentale associée à un son émane des caractéristiques du son entendu par un

processus de similitude sonore ; par exemple, les variations lentes en intensité sont associées à un pattern sonore caractéristique du déferlement d'une vague.

L'analyse des données de captation (vitesse, position) confirme l'analyse des entretiens ; la variabilité des données de captation est moins importante pour les sons non identifiés. En effet, lorsqu'il n'y a pas d'identification, les gestes produits sont une réaction aux contours temporels du son - on pourrait parler d'un accompagnement musical, comme battre la mesure - et dans ce cas, les gestes produits par les auditeurs sont assez similaires puisqu'ils sont guidés par les caractéristiques du son, même si les images mentales sont assez variables sur l'ensemble des participants. Lorsqu'il y a d'identification, le geste décrit est bien associé au mode de production du son. Cependant, l'absence d'objet physique ne contraint pas les participants lorsqu'il s'agit d'effectuer un geste donné : par exemple, même si l'événement est bien identifié par tous les participants, l'imitation gestuelle produite pour écraser une cannette varie d'un participant à l'autre en l'absence d'objet physique.

En conclusion, les deux stratégies d'imitations gestuelles confirment notre hypothèse basée sur deux stratégies d'écoute orientées, soit par des indices causaux, soit par des indices acoustiques, selon que la cause du son est ou non identifiée. Par ailleurs, les résultats obtenus mettent en évidence, pour les sons non identifiés, que le contour temporel favorise un geste similaire entre les participants, et pour les sons identifiés, que l'absence d'objet physique provoque des stratégies gestuelles variables entre les participants pour produire le son associé à une action. Pour finir, l'action mise en jeu pour produire un son est décrite au niveau temporel comme une action soit continue, soit ponctuelle. Enfin, les indices spectraux semblent déterminants pour identifier l'objet manipulé.

2.3.3 Imitations vocales

Ces travaux sont présentés dans l'article « Vocal imitations and the identification of sound events » de Lemaitre et al., actuellement en révision.

Le lexique disponible pour décrire les caractéristiques d'un son est parfois limité pour un locuteur donné. Nous avons montré précédemment que cela peut dépendre du niveau d'expertise de l'auditeur, mais aussi de sa capacité à identifier la cause du son. Un locuteur peut alors avoir recours à une description gestuelle, comme nous venons de le voir, ou encore à l'emploi d'onomatopées ou d'imitations vocales. En effet, dans une première étude, nous avons montré par l'analyse de descriptions verbales de différentes classes de sons que les onomatopées et les imitations vocales sont utilisées de manière spontanée, et plus particulièrement lorsqu'il est difficile de décrire verbalement un son (Lemaitre et al., 2010). Dans le cadre d'une communication entre deux locuteurs, elles permettent une amélioration significative du taux d'identification d'un événement sonore.

Par la suite, nous nous sommes focalisés sur les imitations vocales. Elles sont définies comme des productions vocales non conventionnelles et non spécifiques à une langue - par opposition aux onomatopées. Plus précisément, elles véhiculent des caractéristiques acoustiques similaires à celles de l'événement sonore imité. Elles traduisent alors un processus par lequel un auditeur est capable à la fois d'extraire et de reproduire les caractéristiques acoustiques saillantes d'un événement sonore. Est-ce qu'un designer sonore peut exploiter les imitations vocales pour révéler les caractéristiques acoustiques saillantes permettant de modéliser un son ? Quelles sont ces caractéristiques acoustiques ? Est-ce que la réduction opérée permet d'identifier la cause d'un son ? Afin d'examiner l'hypothèse soulevée par cette dernière question, nous comparons la représentation perceptive d'un corpus de sons du quotidien avec la représentation obtenue pour des imitations vocales de ce même corpus.

Un premier groupe d'auditeurs avait pour tâche d'imiter un corpus de sons du quotidien. Le corpus a été sélectionné à partir de sons bien identifiés. Puis, un deuxième groupe d'auditeurs devait effectuer une tâche de classification avec ces imitations (Lemaitre et al., 2011, en révision). Les classes obtenues et les classes formées à partir des sons imités sont très similaires, à l'exception d'une catégorie de sons - les liquides. Une analyse à l'aide d'un arbre de décision binaire a permis de montrer que les auditeurs ont utilisé un nombre restreint de descripteurs acoustiques pour discriminer les classes d'imitations vocales. Les descripteurs révélés à partir des imitations ont permis aussi de discriminer les classes des sons imités. Ce résultat confirme notre hypothèse : l'information sonore suffisante et nécessaire pour élaborer une représentation perceptive d'un événement sonore est accessible à partir de son imitation vocale. Il apparaît donc que les locuteurs sont capables d'extraire et de reproduire un minimum d'information permettant ainsi la reconnaissance des événements sonores imités. Il faudrait par la suite étendre ce travail pour déterminer si l'information révélée (les descripteurs acoustiques) est pertinente en dehors du contexte de cette étude. L'objectif final de ce travail est de sonder, à partir des imitations vocales, la problématique fondamentale en perception qui concerne l'identification d'un événement sonore.

2.4 Recensement, organisation, et description

Dans la suite, nous présentons nos travaux visant à expliciter les informations perceptivement pertinentes pour décrire un événement sonore, d'une part au niveau acoustique en abordant le timbre et le profil temporel, plus particulièrement les variations d'intensité de différentes familles de sons, et d'autre part au niveau causal, en considérant les grandes classes d'événements sonores (solide, gaz, liquide), et plus particulièrement les actions mettant en jeu des objets solides. Dans la Partie 3, nous aborderons un autre niveau de description correspondant à la signification d'un son notamment en termes d'information dans un processus d'interaction, que ce soit avec des interfaces homme-machine ou avec des dispositifs interactifs.

2.4.1 Les classes de descripteurs du timbre

Les travaux résumés ici ont été effectués dans le cadre de différentes collaborations industrielles avec PSA-Renault (1994-96), SCNF (1995-1996), EDF (1999-2000) et la société Klaxon (2000-2003), dans le cadre de la thèse de Guillaume Lemaitre (2000-2003), et dans le cadre d'un projet national, « Studio en ligne ». Ce travail a donné lieu à de nombreux articles : « A multidimensional technique for sound quality assessment » de Susini et al. (1999), « Characterizing the sound quality of air-conditioning noise » de Susini et al. (2004), « The Sound Quality of Car Horns: A Psychoacoustical Study of Timbre » de Lemaitre et al. (2007), « Environmental Sound Perception : Metadescription and Modeling Based on Independent Primary Studies » de Misdariis et al. (2010), « The Timbre Toolbox : Extracting audio descriptors from musical signals » de Peters et al. (2011).

Les descripteurs psychoacoustiques (sonie, rugosité, acuité, force de fluctuation) utilisés habituellement pour caractériser les qualités perceptives d'un son ont été établis à partir de signaux « simples » (sons purs, bruits à bande étroite...) dont les paramètres sont rigoureusement contrôlés. Ces sons sont habituellement utilisés en psychoacoustique pour étudier les mécanismes physiologiques du système auditif ou pour établir des relations psychophysiques entre un paramètre et la sensation associée (la pression acoustique et la sonie par exemple). Or, les sons environnementaux sont multiformes et complexes. Est-ce que les descripteurs psychoacoustiques proposés sont adaptés pour décrire les qualités perceptives des sons d'une classe d'objets du quotidien ? Sinon, quels sont ces descripteurs ? Par ailleurs, la variété des sons environnementaux - M. Schafer avait recensé six grandes classes, chacune comprenant plusieurs sous-classes - est telle qu'il est difficile d'imaginer que les descripteurs psychoacoustiques peuvent être considérés comme des descripteurs « universels » pour l'ensemble des sons concernés. Existe-t-il des descripteurs universels pour décrire les différentes classes de sons d'objets du quotidien ? Sinon, quels sont les descripteurs spécifiques à chacune des classes ? Ces questions sont fondamentales dans une démarche de design sonore lorsqu'il s'agit de déterminer les caractéristiques acoustiques perceptivement pertinentes pour rendre un son plus agréable, par exemple. Comment déterminer ces caractéristiques ? Nous proposons ici une démarche systématique s'inspirant des travaux menés sur le timbre des sons d'instrument de musique.

Un grand nombre d'études a révélé que le timbre - défini ici comme un attribut du signal permettant de distinguer les qualités perceptives entre deux sons (par exemple un violon et un piano) - est un percept multidimensionnel à la fois acoustique, perceptif et sémantique. Dans une étude récemment publiée s'étendant sur plusieurs années, nous avons étudié le timbre de plusieurs corpus de sons d'instruments de musique mettant en évidence dix classes relativement indépendantes de descripteurs du timbre (Peeters et al., 2011). En revanche, les recherches sur le timbre des sons d'objets du quotidien ont été jusqu'ici peu nombreuses et disparates. Aussi

avons-nous mené une approche similaire à celle réalisée sur les sons musicaux, de façon à révéler des classes de descripteurs acoustiques perceptivement pertinents pour décrire les similarités intra-classes et les différences inter-classes des sons d'objets du quotidien. Il n'est évidemment pas question de couvrir de manière exhaustive l'ensemble des sons du quotidien - le travail serait colossal - mais plutôt de montrer la pertinence d'une telle représentation sur quelques familles de sons.

Les études que nous avons menées et recensées sur le timbre des sons d'objets du quotidien ont été effectuées dans le cadre de différents projets industriels (Susini et al., 1999 ; Susini et al., 2004 ; Lemaitre et al., 2007 ; Lemaitre et al., 2009 ; Parizet et al., 2008). Récemment, un travail important de synthèse a été réalisé afin d'uniformiser les descripteurs acoustiques décrivant le timbre de cette catégorie de sons. L'objectif final est de proposer une structure permettant d'organiser les sons du quotidien à partir de descripteurs acoustiques perceptivement pertinents pour décrire une classe d'objets et les différences avec les autres classes. Nous présentons ici les grandes lignes de ce travail (Misdariis et al., 2010).

De nombreuses études sur les sons d'instruments de musique ont montré clairement que le timbre est un attribut multidimensionnel de la perception auditive, et ce en utilisant les techniques d'analyse multidimensionnelle de dissemblances ; le timbre peut être décrit par un ensemble restreint de dimensions élémentaires indépendantes corrélées avec des descripteurs acoustiques. L'objectif des travaux que nous avons menés a consisté à étendre l'étude du timbre des sons musicaux aux sons du quotidien.

Toutefois, dans une étude que l'on peut trouver uniquement dans le journal *Acoustique et Technique du CIDB* (Susini et al., 1998), nous avons mis en évidence l'influence du processus d'identification dans une tâche de jugement de dissemblance généralement effectuée pour révéler les dimensions continues du timbre d'un corpus de sons étudiés. Les résultats de cette étude montrent que l'approche basée sur les techniques d'analyse multidimensionnelle de dissemblances nécessite que les sons étudiés soient assez similaires entre eux - ce qui dépendra aussi du niveau d'expertise des auditeurs. Autrement dit, les sons doivent correspondre à une classe homogène d'objets (par exemple, des sons correspondant uniquement à des véhicules) pour obtenir des différences entre les sons, basées sur des dimensions perceptives continues (dimensions du timbre) corrélées à des descripteurs acoustiques. Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque le corpus de sons est de nature extrêmement hétérogène (par exemple des véhicules, des trains, des avions...), nous avons montré que le processus cognitif d'identification mis en jeu impose une structure perceptive catégorielle plutôt qu'une structure basée sur un continuum sensoriel.

Aussi, afin d'élaborer une caractérisation du timbre de différentes classes perceptivement homogènes - les objets sont différents entre les classes et similaires à l'intérieur d'une classe -,

une expérience de classification libre a été réalisée à partir de cinq corpus de sons. Les analyses ont révélé trois grandes classes homogènes : la classe 1 correspondant à des sons de moteur (moteur de véhicules, moteurs électriques), la classe 2 correspondant à des sons assimilés à des instruments de musique (Klaxons) et la classe 3 correspondant à des sons d'impact (claquements de portes). Par ailleurs, l'analyse de données perceptives, permettant de distinguer les sons de chaque classe sur plusieurs dimensions continues, indépendantes et issues d'analyses multidimensionnelles, a permis de révéler des descripteurs propres à chacune des classes. Un des descripteurs acoustiques décrivant l'ensemble des classes est le centre de gravité spectrale. Ce paramètre peut être considéré comme un paramètre « universel » puisqu'il est récurrent pour décrire les sons environnementaux ainsi que les sons d'instruments de musique. Les autres paramètres sont : l'étendue spectrale pour les sons de moteur et pour les sons assimilés à des instruments de musique, et la rugosité qui se rajoute uniquement pour ces derniers. Les sons de claquements de portes sont quant à eux caractérisés par une mesure d'impulsivité et de sonie à court terme. Enfin, une extension du corpus sonore des trois classes a été élaborée à partir d'une expérience de classification orientée de façon à obtenir un nombre plus important de sons, cela afin d'élaborer un modèle prédictif permettant de distinguer les trois classes à partir d'un nombre limité de descripteurs acoustiques. Le corpus final comprenait 124 sons. Ainsi, une régression logistique multinomiale a permis de révéler les descripteurs permettant de distinguer les classes entre elles : les classes 1 et 2 se distinguent de la classe 3 pour des valeurs différentes de durée, et les classes 1 et 3 se distinguent de la classe 2 pour des valeurs différentes de l'étendue spectrale.

Ce travail a permis de proposer un modèle de description des sons basé sur une double structure : une structure catégorielle qui définit des classes perceptivement homogènes - l'appartenance aux classes est prédite à partir d'un nombre limité de descripteurs - et une structure continue qui définit les similarités entre les sons d'une classe. Par ailleurs, ces travaux ont permis de révéler que le percept auditif souvent nommé « brillance » (par opposition à « sourd ») et défini par le centre de gravité spectrale est pertinent pour décrire toutes les classes de sons étudiés ici ainsi que les sons d'instruments de musique. D'autre part, la cohérence des résultats à travers ces diverses recherches indique une grande stabilité des processus perceptifs liés à la perception des sons du quotidien et des sons musicaux. Cette cohérence conforte le modèle proposé par McAdams (1993).

2.4.2 Les classes de profils dynamiques et la sonie

Les travaux résumés ici ont été effectués dans le cadre du projet ANR SamplerOrchestrator.

La plupart des études menées sur la description perceptive des sons, qu'il s'agisse des sons musicaux ou des sons environnementaux, considèrent principalement des sons courts et stationnaires, c'est-à-dire des sons dont le profil dynamique varie peu au cours du temps. En

revanche, peu d'études ont été menées sur des sons variant au cours du temps et dépassant quelques secondes.

Or, lorsque l'on considère une action effectuée avec un objet, nous avons vu que le contour temporel du son produit permet de distinguer le type d'action mis en jeu : soutenue ou ponctuelle. Ainsi, le profil temporel serait un renvoi à la signification de l'action effectuée. Existents-ils des classes de sons définies par des profils temporels qui correspondent à des classes d'actions ? Nous reviendrons sur ce point dans la section 2.4.3. Ici, nous nous intéressons aux classes de sons définies par des profils temporels, indépendamment de l'action et de l'objet perçus. L'objectif est d'élaborer un formalisme symbolique permettant de décrire graphiquement le profil temporel associé à différentes classes perceptives de sons (Minard et al., 2010).

Une expérience a été menée, consistant dans un premier temps à élaborer des classes basées sur des profils temporels similaires par une procédure de classification libre, puis dans un deuxième temps, les croquis des profils perçus ont été effectués à la main sur une tablette graphique Wacom. Les résultats obtenus présentent deux classes de profils types : des profils continus (stable, crescendo, decrescendo) et des profils discontinus (train d'impulsions, impulsif, roulement). Les représentations symboliques de ces six classes sont présentées dans la figure 2.3.

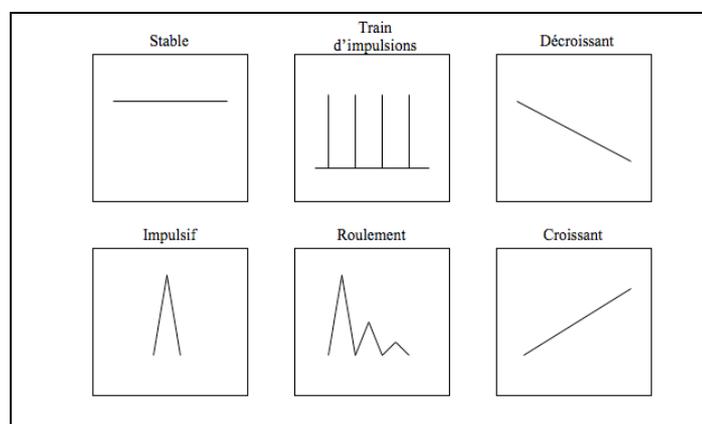


Figure 2.3 : Descripteurs morphologiques – symboles

Chacune des classes est définie par un profil dynamique spécifique. Le percept le plus saillant pour caractériser des variations de dynamique est la sonie (intensité subjective). Cependant, là aussi, on trouve peu de travaux concernant la sonie des sons non stationnaires. Les modèles de prédiction de la sonie, élaborés pour des sons stationnaires, ne sont plus valables. En effet, plusieurs études ont montré que la sonie d'un son crescendo, pour des durées allant de

quelques millisecondes à quelques secondes, est supérieure à la sonie du même son decrescendo, alors qu'une mesure basée sur un modèle de sonie - logiciel LEA de Genesis – prédit sensiblement la même valeur, en tout cas, sans avantage particulier pour un crescendo.

Dans le cadre de nos travaux sur les profils dynamiques, nous avons approfondi la question de la sonie de deux classes de profils : les sons crescendo et les sons decrescendo.

Sonie des sons non stationnaires

Les travaux résumés ici ont été effectués en collaboration avec l'équipe psychoacoustique du LMA-CNRS, dans le cadre des stages de Régis Trapeau (2009) - Master AST -, d'Emmanuel Ponsot (2010) - Ecole Centrale Lyon - et de Paul Paindavoine (2010) - Ecole Centrale Marseille. Le détail est présenté dans les articles « Loudness asymmetries for tones with increasing and decreasing levels using continuous and global ratings » de Susini et al. (2007) et « End level bias on direct loudness ratings of increasing sounds » de Susini et al. (2010).

La journée sur la sonie organisée par la SFA à Lyon, le 2 octobre 2008, a permis de souligner le manque de connaissances sur les processus perceptifs impliqués pour prédire la sonie de sons non stationnaires.

Les travaux que nous présentons ici visent à poursuivre des travaux amorcés par John Neuhoff depuis plus de dix ans sur la sonie des sons crescendo et decrescendo (Neuhoff, 1998). Les principaux résultats de Neuhoff ont montré que la variation de sonie - entre le début et la fin - d'un son crescendo est supérieure à celle d'un son decrescendo. Cette différence soulève plusieurs questions sur le percept mesuré : est-on capable d'estimer une variation de sonie ? - et sur les processus mis en jeu : est-ce que la sonie estimée d'un son crescendo dépend d'un processus de mémoire à court terme qui favorise le niveau de fin ? Nous avons mis en évidence que la mesure d'un jugement global de sonie - impression globale sur la durée du signal - est aussi plus élevée pour un son crescendo (Susini et al. 2007). Des résultats plus récents montrent que l'estimation d'une variation de sonie est fortement dépendante de la méthode expérimentale et de la sonie globale, et d'autre part, que la sonie de fin de rampe est équivalente à la sonie d'un son stationnaire présenté à un niveau acoustique équivalent (Susini et al., 2010). En d'autres termes, ce deuxième résultat montre que la différence entre un son crescendo et un son decrescendo est liée à une prédominance perceptive du niveau acoustique de fin d'un crescendo. S'agit-il d'un effet à court terme ou qui persiste dans le temps ? Nous avons abordé cette question dans un paradigme à choix forcé en présentant un son crescendo et un son stationnaire dont le niveau varie autour de la valeur du niveau de fin du son crescendo. Cette procédure a été répétée pour différents intervalles séparant les deux sons (500ms, 1, 2, 4, 8 sec). Les résultats montrent que même si la sonie d'un crescendo est légèrement plus faible, elle varie de la même manière avec le temps que la sonie d'un son

stationnaire présenté avec un niveau acoustique similaire au niveau de fin du crescendo. Ce résultat indique bien qu'il y a persistance de la prédominance du niveau de fin dans les jugements de sonie globale d'un son crescendo (Susini et al., 2011). Aussi, un estimateur de sonie d'un son crescendo doit prendre en compte une intégration sur la fin du signal. Ces travaux seront complétés afin de caractériser et d'élaborer un indicateur de sonie pour les sons crescendo et decrescendo représentatifs de différents événements sonores de notre quotidien (décollage d'un avion, un ballon de baudruche qui se dégonfle, passage d'un train, etc.).

2.4.3 Les classes d'événements sonores

Les travaux résumés ici ont été effectués également dans le cadre du projet européen CLOSED. Le détail est présenté dans l'article « A Lexical Analysis of Environmental Sound Categories » par Houix et al., actuellement en révision.

Comme nous l'avons introduit, deux stratégies d'écoute coexistent ; l'une est focalisée sur les caractéristiques acoustiques, l'autre sur la cause du son en considérant l'objet mis en jeu et l'action effectuée avec ou sur l'objet. Jusqu'ici nous nous sommes focalisés sur une description acoustique de différentes classes de sons ; nous avons mis en évidence qu'il existe plusieurs classes de sons en termes de timbre et de profil dynamique. Le deuxième niveau de description que nous considérons ici est lié donc à l'objet et à l'action. Le point de départ de notre travail repose sur la taxonomie proposée par W. Gaver (1993). Même si elle n'est pas exhaustive, elle permet de décrire les événements sonores les plus communs de notre quotidien. Cependant, la taxonomie de W. Gaver est issue uniquement d'une approche phénoménologique. Est-ce que cette taxonomie est représentative de classes perceptives basées sur une description causale des sons ?

Comme nous l'avons souligné auparavant, le processus cognitif de catégorisation est un processus fondamental pour la représentation cognitive d'un événement sonore. Aussi, une procédure de classification a-t-elle été adoptée dans le but de faire émerger la structure perceptive d'un corpus sonore varié. Puis, cette structure perceptive a été confrontée à la structure hiérarchique proposée par Gaver. Dans un premier temps, nous considérons le premier niveau de division de la structure de Gaver qui correspond à une séparation en grandes classes d'actions engageant différents matériaux : liquide (verser de l'eau dans un verre), solide (gratter avec un ongle), et gazeux (souffler dans un tube).

La sélection du corpus sonore doit être réalisée judicieusement ; il est nécessaire que les sons soient parfaitement identifiés afin d'engager une écoute causale, puisque, rappelons-le, la taxonomie proposée par W. Gaver rend compte d'une organisation basée sur une représentation causale, et non acoustique des sons. Nous considérons donc un contexte sonore spécifique à un lieu, celui de la cuisine, sachant que l'identification d'un événement sonore est

fortement dépendant d'inférences liées aux connaissances relatives à un contexte et à différents processus cognitifs. De plus, les participants retenus étaient des non experts dans le domaine du son, cela afin d'éviter des descriptions se situant au niveau acoustique.

L'analyse des données de classification révèle un niveau général d'organisation des sons en quatre classes. Nous avons approfondi ces résultats sur la base d'une analyse statistique textuelle afin de dégager des portraits associés à chaque classe. Les analyses révèlent que le niveau le plus général de classification concerne l'objet. Les quatre classes d'objets sont identifiées respectivement ainsi : liquides, solides, gaz et appareils électriques. Ce résultat confirme le niveau général d'organisation hiérarchique proposée par W. Gaver. Un niveau plus spécifique, correspondant aux sous-classes, concerne le type d'action mis en jeu pour chacune des quatre classes d'objets. Cependant, la grande variété des classes d'objets présentées aux auditeurs - allant des liquides aux appareillages électriques - n'a pas permis de définir précisément les sous-classes. Aussi nous sommes-nous focalisés lors d'une deuxième expérience sur les actions mises en jeu, en nous intéressant uniquement à la classe des objets solides, de façon à orienter l'écoute des auditeurs plus particulièrement vers une description des actions mises en jeu. Par ailleurs, nous nous sommes de nouveau assurés que les sons sélectionnés étaient bien identifiés, afin de focaliser la tâche de classification sur des similarités causales plutôt qu'acoustiques.

Les analyses révèlent l'existence de deux classes principales et de plusieurs sous-classes. La figure 2.4 présente les portraits obtenus à partir des analyses textuelles basées sur deux approches (Lexico et Alceste). Les deux classes principales correspondent respectivement à des actions discrètes - impliquant un contact bref entre objets - (tomber, casser / frapper, taper / faire tourner) et à des actions soutenues - impliquant un contact entretenu avec un objet ou entre objets - (secouer / froisser, compresser, broyer / scier, couper, frotter). Les sous-classes obtenues sont en accord avec celles proposées par Gaver, mais la structure perceptive que nous avons obtenue considère une représentation mentale organisée en deux grandes classes associées respectivement à :

- un profil discontinu, bref, qui peut être répété, et sous-tend des actions de type contact ponctuelles correspondant au passage direct entre deux états, « déconnecté » et « connecté », comme par exemple, poser un verre sur une table, appuyer sur des boutons, fermer un placard; le son confirme l'action effectuée ;
- un profil continu qui sous-tend des actions soutenues correspondant au passage continu entre deux états, comme par exemple fermer ou ouvrir une fermeture éclair, couper du pain, écraser une cannette ; le son accompagne / guide l'action effectuée.

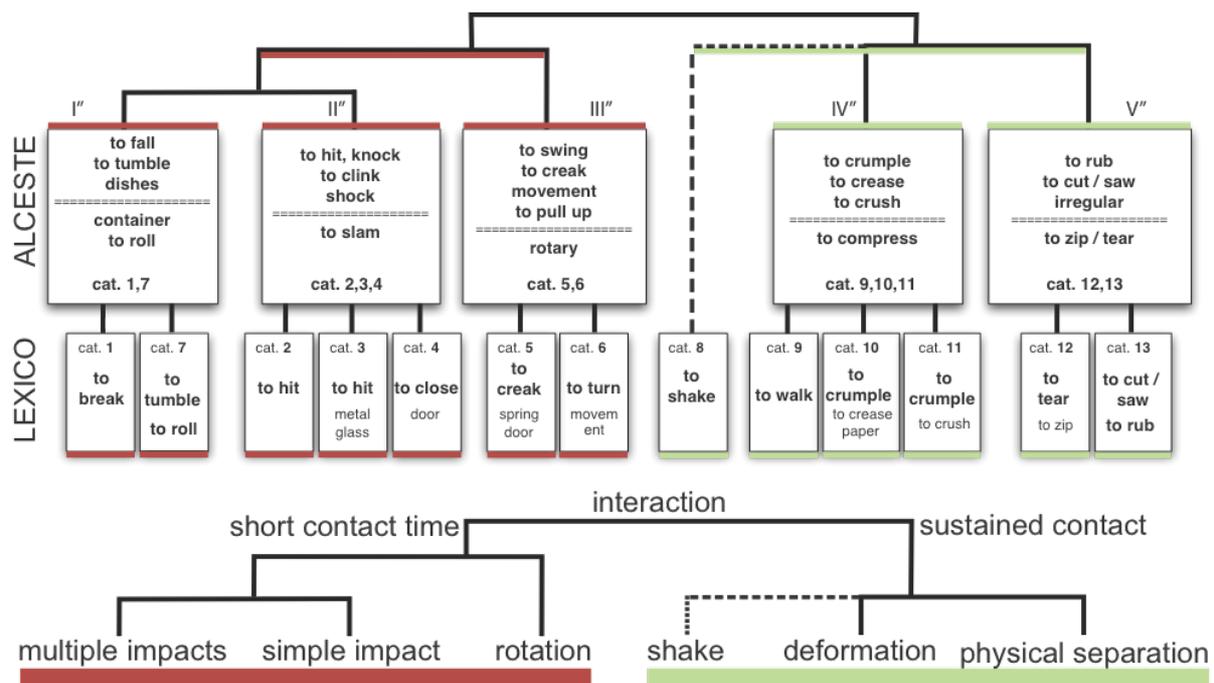


Figure 2.4 : Portraits des actions mises en jeu dans un événement sonore pour la classe des objets « solides »

2.5 Implication pour le design sonore

2.5.1 Elaboration d'un cahier des charges perceptif

Nos travaux sur les imitations vocales ont révélé qu'une imitation est une réduction suffisante de l'information sonore pour identifier un son. Ce résultat est pertinent dans un contexte de design sonore puisqu'une imitation vocale permet ainsi de révéler les composantes perceptivement saillantes pour caractériser un événement sonore. On en voit tout de suite l'intérêt lorsqu'il s'agit de remodeler un son sur la base de composantes sonores pertinentes, ou encore, dans le domaine de l'animation, pour élaborer des éléments sonores exagérant les traits les plus saillants d'un son et éliminant les autres (principe de « cartoonification » similaire au bruitage dans le domaine du cinéma).

Depuis le début des années 90, de nombreux travaux ont été menés dans le cadre de la qualité sonore ; l'objectif étant de rendre les sons du quotidien plus agréables en modifiant leurs caractéristiques acoustiques. Les recherches combinées en psychoacoustique et en physiologie ont permis de développer des modèles permettant de prédire, à partir du signal sonore, des indicateurs traduisant des sensations auditives élémentaires telles que la sonie, l'acuité ou la rugosité. Cependant, cette approche rencontre certaines limites puisqu'elle considère ces descripteurs comme étant « universels » pour décrire l'ensemble des classes de sons. Or nos études sur le timbre ont montré qu'il n'existe pas, en dehors du centre de gravité spectrale, de descripteur universel. Aussi, nos travaux sur le timbre des sons du quotidien ont-ils été

largement appliqués et avec succès dans le domaine industriel pour élaborer des spécifications perceptives spécifiques à une classe de sons et en accord avec les préférences d'auditeurs ; l'objectif final étant de modeler un son afin qu'il soit perçu comme plus agréable ou encore qu'il soit identifié correctement dans un contexte donné. Ces travaux ont été menés dans le cadre de projets industriels avec Renault, PSA, la SNCF, EDF et la société Klaxon. Une méthodologie générale est proposée dans « A multidimensional technique for sound quality assessment » de Susini et al. (1999) pour définir les composantes d'un son agréable, et dans « The Sound Quality of Car Horns : Designing new representative sounds » de Lemaitre et al. (2009) pour définir la typicalité d'un son.

2.5.2 Organisation de bases de données sonores

Les travaux menés sur le timbre ont été également appliqués pour élaborer des outils automatiques de recherche et de classification par similarités acoustiques dans des bases de données sonores de taille importante (projet ANR SampleOrchestrator). C'est un outil utile pour les designers sonores, qui permet de classer des sons par similitudes perceptives avec des sons déjà classés, ou de rechercher dans une base de données sonores un son similaire à un son cible.

Une autre structure de classification peut être élaborée, à partir de nos résultats, en se basant non plus sur les caractéristiques acoustiques mais sur la cause du son. Il s'agit dans ce cas d'une structure de classification intuitive, puisqu'adaptée à notre organisation cognitive des événements sonores de notre quotidien, en classes d'objets et en classes d'actions mises en jeu.

2.5.3 Contrôle de la synthèse

L'analyse des relations entre gestes, actions et profils temporels peut permettre d'élaborer des interfaces de contrôle intuitives pour la synthèse sonore par modèle physique, basées sur des gestes pertinents : par exemple, un geste ponctuel implique un modèle engageant un mode d'excitation bref (impact) alors qu'un geste continu implique un modèle engageant un mode d'excitation entretenu (frottement). On peut aussi, comme pour le contrôle gestuel, envisager un contrôle de la synthèse en utilisant des imitations. Ce dernier point a été soumis à l'occasion d'un projet européen (projet SkAt).

2.5.4. Design de systèmes interactifs

La relation geste-son est pertinente lorsque l'on aborde la question de l'interaction avec un objet en termes de design sonore. Notamment, on s'intéressera à l'influence des caractéristiques d'un son pour adapter efficacement un geste dans un contexte interactif. In fine, il s'agit de proposer un modèle de « mapping » sonore pertinent et cohérent pour favoriser une forme gestuelle qui soit en adéquation avec les manipulations possibles d'un objet. Les

résultats issus de nos travaux montrent qu'un son causal engage un geste correspondant à une action qui produit le son (frotter, taper, etc.), alors qu'un son non causal engage un geste qui est déterminé par les contours du son (enveloppe, mélodie, etc.). Ces résultats permettent d'élaborer l'hypothèse suivante : un son causal favorisera un geste intuitif avec un dispositif physique. Il sera pertinent d'exploiter cette hypothèse dans le cadre du design de dispositifs sonores interactifs, que nous allons aborder dans la partie suivante.

Partie 3



3. La fonction du son dans un processus de design sonore

Comme nous l'avons introduit dans la Partie 1, diverses connaissances préalables sont nécessaires pour déterminer la façon dont le son sera interprété par un auditeur dans le cadre d'une application. Aussi, nous considérons des pré requis nécessaires pour la création de sons, que nous formulons sur la base de recherches menées en perception sur les sons des objets du quotidien (Partie 2), mais aussi sur les sons existants d'interfaces homme-machine (IHM), lesquels font maintenant partie de notre environnement sonore (Partie 3). Nous abordons ici les travaux que nous avons menés sur les sons d'IHM concernant les alarmes sonores, les feedbacks sonores et les dispositifs sonores interactifs. Dans les trois cas, il s'agit de sons créés avec une intention fonctionnelle. Nous définirons tout d'abord la notion de fonction d'un son aussi bien pour les objets du quotidien que pour les IHM. Puis nous examinerons l'adéquation entre un son et sa fonction dans différentes IHM existantes ; nous présenterons par la suite les résultats de recherches et d'applications que nous avons réalisées sur les alarmes sonores. Enfin, nous aborderons une thématique de recherche récente qui traite de la perception du son dans le cadre de dispositifs interactifs. La notion de feedback sonore sera alors étendue à celle d'interaction sonore. Nous étudierons la pertinence de l'information véhiculée par une interaction sonore pour le contrôle d'une action dans un processus dynamique engageant perception et action. D'autre part, dans un objectif de design sonore, nous serons amenés à poser des hypothèses sur la conception d'un son pour un dispositif interactif, à partir des résultats que nous avons obtenus mentionnés dans la Partie 2, en particulier pour ce qui est des stratégies d'écoute et des différents modes de description associés. Ces hypothèses seront examinées dans différents protocoles expérimentaux.

3.1 Introduction : la fonction sonore

Dans la partie précédente, nous avons défini les sons étudiés dans le cadre du design sonore en précisant que nous nous limitons à une certaine classe de sons produits à partir d'objets concrets de notre quotidien, plus particulièrement des produits manufacturés ou artefacts dont le son produit est la conséquence d'une action (gratter une allumette, choquer des verres, couper du pain, taper avec une raquette dans une balle, etc.).

Nous complétons ici la définition en parlant d'objets du quotidien dont la production sonore est la conséquence d'une action effectuée « dans un but donné » - plus généralement, on parlera d'activité ; par exemple, gratter une allumette *pour allumer une cigarette*, choquer des verres *pour célébrer un événement*, taper avec un raquette dans une balle *pour marquer un point...* Le son communique une information qui permet d'ajuster un geste ou un mouvement pour atteindre un objectif donné, soit en confirmant, soit en guidant l'action effectuée. Par exemple, priver des joueurs de tennis du son de la balle a un effet sur les gestes effectués et produit davantage d'échecs (Takeuchi, 1993) ; modifier les sons lorsqu'ils sont la conséquence d'un geste réalisé avec un objet, perturbe l'expérience haptique de l'auditeur (Zampini, et al., 2003, 2004 ; Spence et al., 2006) ; de même utiliser la dimension sonore en adéquation avec un geste spécifique participe à l'entraînement d'athlètes (Eriksson et al., 2010). Le son est alors perçu comme un renvoi à un sens ; il communique une information qui est interprétée dans le contexte de l'activité menée par l'auditeur.

Dans le cadre du design sonore, nous parlerons de la fonction sonore lorsque le son communique une information nécessaire et utile pour un usage défini. De ce point de vue, le son concomitant à une action effectuée avec un objet concret est considéré comme une information nécessaire et utile ; le son a une fonction pour l'utilisateur qui interagit avec l'objet.

La création de sons pour communiquer des informations a principalement été considérée dans le cadre des interfaces homme-machine dans différents domaines (informatique, aviation, automobile, etc.). Les fonctions principales abordées dans la littérature sont les feedbacks (rétroactions) sonores pour confirmer ou illustrer une action, et les alarmes sonores pour alerter d'un événement.

Nous étendrons donc ici l'étude des sons des objets concrets à l'étude des sons des interfaces homme-machine (IHM)⁶. Ainsi, le processus de design sonore peut être véritablement engagé

⁶ Adopter un corpus plus large incluant la catégorie des sons d'IHM revient à ne pas retenir le 4^{ème} alinéa de la définition de Vanderveer introduite dans la partie 2 de ce document (« The sounds to be considered are not part of a communication system, or communication sounds, they are taken in their literal rather than signal or symbolic interpretation »).

puisque'il s'agit de sons sur supports numériques qui présentent l'avantage d'être facilement manipulables et intégrables dans un système électronique et informatique. Par la suite, nous présenterons nos travaux sur les alarmes sonores que nous prolongerons par une application dans laquelle les trois phases du processus de design sonore (analyse, création, validation) sont déroulées. Nous aborderons la question des feedbacks sonores pour les IHM, souvent associés à la confirmation ou à la validation d'une action, puis nous étendrons les recherches à des situations plus complexes, proches de celles rencontrées avec les objets concrets du quotidien, et ce en abordant la notion d'interaction sonore dans différents dispositifs interactifs.

3.2 Adéquation fonction - son : études préliminaires sur les sons d'IHM

Les sons d'IHM existent depuis plusieurs dizaines d'années dans notre environnement sonore quotidien. Nous avons élaboré de manière implicite des réflexes permettant d'associer un son d'IHM à une fonction spécifique ; c'est le cas des Klaxons, des sirènes, des alarmes, et de nombreux bip sonores. De nos jours, les sons d'IHM sont proposés dans différents domaines : grand public (l'automobile, l'informatique, l'électroménager, la téléphonie, etc.), et professionnels (l'aviation, le secteur hospitalier, etc.). Mais existe-t-il des principes pour créer des sons d'IHM ? L'hypothèse que nous avons introduite dans la Partie I (§1.5) est qu'il est pertinent d'explorer et d'exploiter notre environnement sonore afin de tirer profit de nos expériences quotidiennes, d'écoute et d'association, de manière à faire émerger des principes de création pour de nouveaux sons. Par ailleurs, existe-t-il une adéquation perceptive entre une fonction et le son associé dans les IHM existantes ?

Une démarche de design sonore telle que nous l'avons proposée (§1.3) s'amorce par un inventaire et une analyse de sons existants. Aussi, dans l'objectif de créer des sons pour des IHM dans le domaine informatique et dans le domaine automobile, nous avons effectué un inventaire et une analyse des sons existants dans ces deux domaines d'application. L'objectif est double : 1/ vérifier si les sons existants remplissent leur fonction et 2/ élaborer des connaissances pour établir des spécifications pour la création de nouveaux sons.

Dans une étude préliminaire réalisée dans le cadre d'un projet RNRT (Radio.Thém), un inventaire de sons d'IHM dans le domaine informatique a été réalisé pour différentes fonctions. Les sons regroupaient, d'une part, des sons de feedback pour indiquer l'arrivée et le départ d'un mail, la réponse à une action (positive/négative), l'ouverture et la fermeture d'une application, et d'autre part, des sons d'alarme pour indiquer, par exemple, un rendez-vous (Susini et al., 2003). Un corpus a été constitué de 48 sons, tous extraits de différents systèmes d'exploitation et d'applications courantes. Dans une expérience de classification orientée, les auditeurs devaient associer chaque son à une des catégories fonctionnelles indiquées par un label. Les résultats montrent que les sons d'alarmes sont parfaitement distingués des autres sons ; de même pour les feedbacks indiquant une réponse négative (erreur). En revanche, les autres catégories

fonctionnelles sont moins bien définies, en particulier les sons de feedbacks indiquant l'envoi d'un mail ou la réponse positive à une action ; elles sont définies par moins de 50% des sons existants. L'analyse des caractéristiques acoustiques des catégories formées a cependant permis d'extraire des règles fonctionnelles pour la création de nouveaux sons. Les fonctions correspondant à une action en cours sont décrites par un profil temporel continu ; par exemple, le son d'un objet envoyé en l'air ou celui d'un crescendo sont associés à l'envoi d'un mail. Les fonctions correspondant à une action ponctuelle sont décrites par un profil temporel discontinu ; par exemple, un son aigu et bref est utilisé pour une réponse positive, et un son grave et bref, répété deux fois, pour une réponse négative. Les sons ont finalement été créés sur la base de ces résultats par le designer sonore Emmanuel Deruty.

Dans une autre étude préliminaire, menée dans le cadre de la thèse de Clara Suied (Suied et al., 2005), nous avons montré que les sons d'IHM existants dans le secteur de l'automobile (en 2003) ne communiquaient pas l'information pour laquelle ils avaient été conçus : « oubli de fermeture de porte », « liquide frein défaillant », etc. Un corpus de 38 sons enregistrés dans dix-huit véhicules a été étudié. Le but de cette pré-étude était de classer les sons dans trois catégories pré-définies suivant le niveau de priorité. La catégorie la plus urgente était définie comme « Avertir d'un danger » ; venait ensuite « Signaler un oubli sans risque » ; enfin, « Informer (confirmer, assister) ». Globalement, les sons existants dans l'automobile ne respectaient pas le cahier des charges fonctionnel, tous constructeurs et gammes de véhicules confondus. Plus spécifiquement, les sons de danger ont été les plus mal classés : 71% ont été classés comme sons d'oubli ou comme sons d'information.

Ces études révèlent l'intérêt et la nécessité d'une phase d'analyse en vue d'élaborer des connaissances sur nos structures perceptives qui permettent d'adapter la création d'un son.

3.3 Les alarmes sonores

Les travaux résumés ici ont également été effectués dans le cadre de la thèse de Clara Suied. Le détail est présenté dans les articles « Evaluation warning sound urgency with reaction times » par Suied et al. (2008) et « Why are natural sounds detected faster than pips ? » Suied et al. (2010).

Dans notre quotidien, la fonction sonore la plus évidente est celle d'une alarme. Cependant, les études sur des signaux d'alarmes en contexte d'usage ont montré le manque d'adéquation entre le degré d'urgence traduit par les signaux d'alarmes et les situations associées (O'Carroll, 1986; Momtahan, et al., 1989 ; Suied et al, 2005). Des caractéristiques acoustiques ont été proposées pour communiquer un niveau d'urgence de manière optimale (Patterson, 1982 ; Edworthy, 1991).

Lors d'une deuxième étude que nous avons menée dans le cadre de la thèse de Clara Suied, plusieurs de ces caractéristiques (cadence rythmique, fréquence fondamentale, modulation...) ont été comparées à partir de jugements sur des échelles subjectives associées à un niveau d'urgence. Le rythme s'est révélé être le paramètre le plus pertinent pour décrire différentes catégories d'urgence allant de l'alerte à la confirmation d'un événement (Suied, 2007).

Cependant, comme le souligne Vogel (1999), le caractère signifiant des propriétés acoustiques traduisant un danger est inhérent à une culture collective donnée. Le son d'un Klaxon traduit un danger parce qu'il est reconnu et associé à un véhicule par les membres d'un même groupe culturel. C'est encore plus marqué pour les sirènes de police qui se distinguent les unes des autres d'un pays à l'autre. De même, l'évaluation d'un son sur une échelle d'urgence relève d'un processus subjectif influencé par de nombreux facteurs cognitifs qui varient d'une population à une autre. Par conséquent, les résultats seront valables uniquement dans un contexte donné. D'autre part, un jugement subjectif hors contexte n'est pas adapté pour étudier la réaction d'un auditeur à un paramètre acoustique. Aussi, les résultats des tests subjectifs, indiquant que le rythme est un paramètre pertinent pour communiquer un niveau d'urgence, sont-ils valables lorsque l'on s'intéresse à la réaction d'un auditeur ? Quels sont les mécanismes perceptifs mis en jeu ? Par ailleurs, est-ce que la détection d'une alarme est favorisée par un réflex pré-catégoriel basé sur des caractéristiques acoustiques du son ? Au contraire, est-ce que la détection d'un danger dépend d'un processus cognitif basé sur l'identification du son ?

Pour approfondir ces questions dans le contexte du design sonore d'alarmes, nous avons adopté une procédure expérimentale objective basée sur des mesures de temps de réaction simple. Les expériences ont été menées dans un contexte expérimental semi réaliste combinant une tâche de temps de réaction et une tâche de suivi de cible (Suied et al., 2008).

Nous avons exploré plus en détail le paramètre rythmique afin de déterminer les valeurs de cadence produisant la détection la plus rapide. Les valeurs de l'intervalle inter-pulse (IOI) testées étaient comprises entre 25 et 300 ms pour des pulses d'une durée de 20 ms. Les résultats indiquent que :

- les réponses les plus rapides sont obtenues pour les sons de tempos les plus rapides. Un modèle auditif combinant les approches de résolution et d'intégration temporelles permet d'expliquer les données obtenues (Viemeister and Wakefield, 1991),
- le seuil est obtenu pour une valeur d'IOI de 33 ms. Ce résultat est cohérent avec la zone de valeurs autour de laquelle le percept de cadence passe à un percept de hauteur (Russo and Jones, 2007).

Ces résultats valident les résultats précédents, confirment la pertinence d'un paradigme basé sur la mesure de temps de réaction pour définir précisément les valeurs d'IOI associées à un niveau d'urgence, et révèlent les mécanismes auditifs mis en jeu.

Dans une étude complémentaire (Suied et al., 2010), nous avons abordé la question de l'urgence, toujours dans un paradigme de temps de réaction, en comparant deux classes de sons : la première classe correspond à des sons d'animaux bien identifiés (lion, léopard...), la deuxième classe correspond à une transformation de la première consistant à les rendre non identifiables tout en gardant l'enveloppe temporelle du son et en homogénéisant la structure spectrale entre les sons par un bruit blanc. L'objectif est d'examiner si un processus de reconnaissance précoce peut favoriser la détection des sons. Les résultats révèlent une légère différence à l'avantage des sons transformés. La dissemblance entre les deux corpus peut être expliquée par des différences spectrales ; les sons de la deuxième classe activeraient un plus grand nombre de canaux auditifs. Ce résultat invalide un processus cognitif qui favoriserait l'usage de sons « naturels » dans une tâche de détection, et favorise au contraire l'usage de caractéristiques acoustiques spécifiques. Les connaissances acquises lors de ces travaux de recherche s'inscrivent dans la phase d'analyse d'un processus de design sonore. Dans le cadre d'une application pour le domaine automobile, elles ont permis d'élaborer des spécifications pour la phase de création.

3.4 Application au design sonore d'IHM dans le domaine automobile

A partir des résultats des travaux de thèse de Clara Suied et de travaux antérieurs sur les sons d'IHM (Susini et al., 2003), un ensemble de spécifications fonctionnelles a été élaboré pour la phase de création de sons d'IHM dans le domaine automobile. Cette étape correspond à la phase d'analyse du processus de design sonore que nous avons présentée. De plus, les sons devaient satisfaire un niveau d'émergence par rapport au bruit de fond ambiant, suivant différentes conditions de roulage. Sur la base de ces spécifications, le compositeur Andrea Cera a créé un corpus de sons couvrant différents niveaux d'urgence pour une IHM de voiture (Laguna 2), pour informer par exemple « d'un oubli de ceinture », « d'une défaillance majeure », etc. Au cours de la phase de validation, un test perceptif sur l'urgence perçue a été effectué afin d'estimer les créations au regard des spécifications, notamment en terme de hiérarchie d'urgence. La plupart des sons créés respectaient le niveau d'urgence pré-défini. Finalement quinze sons ont été retenus pour être intégrés dans le véhicule. Cette étude a donc permis de proposer une boucle de conception d'IHM allant de l'analyse, basée sur les résultats de recherches que nous avons menées en amont, jusqu'à la validation perceptive des sons créés.

3.5 Le son, vecteur d'interaction

Les travaux résumés ici ont été effectués dans le cadre du projet européen CLOSED.

3.5.1. Les dispositifs interactifs sonores

"I believe that our reliance on abstract representations and actions is a mistake and that people would be better served if we would return to control through physical objects, to real knobs, sliders, buttons, to simpler, more concrete objects and actions"

[Donald Norman, 1999]

Les objets concrets se distinguent des IHM sur le plan des actions mises en jeu : les objets concrets sont manipulés directement par le fait d'une action physique ; les interfaces homme-machine sont manipulées généralement sur écran par l'intermédiaire d'une souris ou directement dans le cas des écrans tactiles. Pour les IHM, il y a séparation physique entre le son et le geste ; le son n'est pas la conséquence d'une production physique induite par un geste. En revanche, les nouvelles IHM basées sur des dispositifs interactifs permettent un contrôle direct d'une interface en utilisant un retour sonore pour informer l'auditeur sur le geste effectué. Plus précisément, il s'agit d'objets équipés de capteurs et de microcontrôleurs permettant de contrôler en temps réel un outil de synthèse sonore en relation avec les manipulations de l'objet. L'objectif est de mettre en place une interaction dynamique entre un utilisateur et l'objet, reposant sur la dimension sonore : la manipulation de l'objet produit des sons qui à leur tour influencent la manipulation de l'objet. Nous procédons de la même manière avec les objets de notre quotidien : un instrument de musique est un bon exemple d'une telle interaction. On parle alors d'interaction sonore. Le son est vecteur d'interaction ; c'est la fonction du son.

Ces dispositifs engagent donc un principe de causalité ; le son est directement lié au geste produit. Les dispositifs interactifs constituent ainsi un champ exploratoire pertinent pour étudier la fonction sonore dans un processus interactif équivalent à ce que l'on peut expérimenter avec des objets concrets du quotidien.

3.5.2. « Mapping sonore » pour un dispositif interactif

De nombreux travaux sur les sons de feedback d'IHM concernant la relation entre l'information communiquée et le son associé ont été menés dans la communauté ICAD. On parle de « mapping sonore » (voir §1.6). Rappelons-le, deux tendances ont été explorées pour les sons de feedback d'IHM : la première exploite des relations arbitraires avec les caractéristiques acoustiques d'un son musical (Blattner et al., 1989) ; la deuxième exploite des analogies sonores avec le monde physique (Gaver, 1989).

L'étude de dispositifs sonores interactifs soulève la question du choix du « mapping » entre une action et un son, de façon à favoriser la manipulation d'un dispositif pour atteindre de manière efficace et précise l'objectif souhaité.

Nos travaux sur les sons des objets du quotidien (Partie 2) ont montré que l'écoute est naturellement focalisée, dans un contexte quotidien, sur l'objet et l'action effectuée. Une action est cependant mieux reconnue qu'un objet. En revanche, si le son n'est pas identifié, l'écoute sera focalisée sur les caractéristiques acoustiques du son. Nous avons montré aussi qu'un son identifié engage un geste correspondant à une action qui produit le son, alors qu'un son non identifié engage un geste déterminé par les contours du son.

Dans le cadre des dispositifs interactifs, l'hypothèse que nous posons à l'appui de ces résultats est qu'un geste sera ajusté de manière intuitive et spontanée si le son associé permet d'établir une analogie avec l'action qui en est la cause. D'autre part, il est nécessaire que l'action identifiée soit en adéquation avec les manipulations possibles de l'objet.

Une hypothèse similaire a été exploitée par Matthias Rath au cours d'une première étude expérimentale avec un dispositif sonore interactif (Rath et al., 2008). Nous décrivons brièvement son expérience et ses résultats. Le dispositif sonore interactif utilisé, le « Balancer », correspondait à une interface très simple constituée d'un guide en bois que les participants pouvaient incliner (figure 3.1). La manipulation de l'interface contrôlait un modèle de synthèse simulant le roulement d'une bille le long d'un guide. La bille étant virtuelle, les utilisateurs n'étaient informés de sa position et de sa vitesse que par un retour visuel ou sonore. Ils devaient réaliser certaines tâches comme, par exemple, amener la bille sur une zone cible du guide.

Dans un premier temps, le « mapping » était réalisé en utilisant un son réaliste correspondant au roulement d'une bille sur du bois grâce à un outil de synthèse sonore en temps réel basé sur un modèle physique complexe ; cela correspond à un « mapping causal ». Dans un deuxième temps, le son utilisé était un son abstrait conservant toutefois des caractéristiques permettant d'avoir une information sur la position et la vitesse de la bille ; cela correspond à un « mapping abstrait ».

Les résultats ont montré que les deux types de « mapping » permettaient, au final, un contrôle de la bille virtuelle. Cependant, le « mapping causal » induisait un apprentissage plus rapide ; cet avantage disparaît après quelques essais. Cette étude met en évidence l'influence de la composante sonore sur les performances des participants.

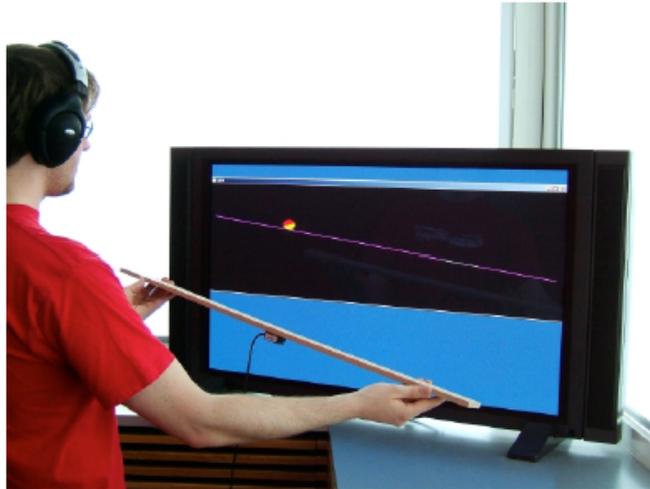


Figure 3.1 : Dispositif « Balancer » [Rath et al, 2008]

De manière similaire, nous examinerons aussi l'influence d'un « mapping causal » sur l'apprentissage pour effectuer une tâche donnée au cours d'une première expérience mettant en jeu un dispositif interactif spécifique, le « Spinotron » (§3.5.4).

Nos travaux sur les sons des objets du quotidien indiquent également que le timbre est un attribut multidimensionnel qui décrit les similarités acoustiques entre les sons d'une même classe perceptive associée à un objet. Le contrôle des caractéristiques acoustiques permet de modifier la qualité d'un son en accord avec les préférences d'un groupe d'auditeurs. Dans l'expérience de Rath et al. (2008), les auditeurs ont préféré le son causal du roulement d'une bille au son abstrait. Nous examinerons par la suite l'influence du type de « mapping » sonore et de certaines caractéristiques acoustiques sur des jugements associés à la préférence et à la fonctionnalité, en considérant deux dispositifs interactifs, respectivement le « Flops » (§3.5.5) et l'« ATM⁷ » (§3.5.6). Dans les deux cas, nous serons amenés à émettre des hypothèses sur les sons utilisés.

3.5.3 Un cadre expérimental nouveau

La plupart des études menées en perception sonore considèrent un cadre expérimental engageant une écoute passive de sons rigoureusement contrôlés en laboratoire. Dans le domaine des IHM, les approches expérimentales sont souvent basées sur des mesures de temps de réaction. L'étude des dispositifs interactifs engage des processus combinant perception et action qui nécessitent de développer de nouveaux paradigmes expérimentaux permettant d'examiner la dimension sonore dans un contexte actif de l'auditeur. Les études que nous avons menées n'ont pas pour ambition de proposer un cadre expérimental nouveau de

⁷ Automatic Teller Machine

manière générale, mais elles permettent de donner des pistes et soulèvent des questions méthodologiques. Dans le cadre des travaux présentés ici, nous aborderons les questions soulevées autour des dispositifs sonores interactifs dans un cadre expérimental basé sur des mesures indirectes effectuées de plusieurs manières : en sondant des résultats de performance et d'apprentissage, en examinant des réponses émotionnelles, en évaluant l'influence des paramètres fonctionnels des dispositifs et en comparant des jugements avant et après utilisation d'un dispositif.

3.5.4 Influence de la dimension sonore sur la manipulation d'un dispositif : le Spinotron

Le détail est présenté dans l'article « Toward the Design and Evaluation of Continuous Sound in Tangible Interfaces : The Spinotron » par Lemaitre et al. (2009).

Cette étude a été réalisée en collaboration avec l'Ecole Supérieure de Design de Zürich (ZHdK). Un objet a été créé, le « Spinotron », qui consiste en une pompe verticale (voir photos, figures 3.2 et 3.3). Plusieurs « mapping » ont été créés et testés. Le premier, basé sur la métaphore d'une bille roulant dans un bol, lui-même mis en rotation par l'action de l'utilisateur sur la pompe, s'est avéré trop complexe pour pouvoir être utilisée ; le « mapping » n'était pas bien perçu par les auditeurs. Le second « mapping » était basé sur la métaphore d'une toupie à crémaillère. L'action sur la pompe met en rotation une roue dentée virtuelle, dont le cliquetis est synthétisé par un modèle physique d'impact. Une première expérience, basée sur des tests d'écoute, a montré que les auditeurs sont capables de manière significative de percevoir la vitesse de rotation de la roue ; le « mapping » est bien perçu.

Puis, dans le contexte d'utilisation du dispositif interactif, nous avons étudié si le son de la roue dentée guide la manipulation du dispositif pour effectuer une tâche spécifique : atteindre une cadence donnée de pressions successives exercées sur le dispositif avec et sans retour sonore. L'influence du son a été examinée en évaluant l'apprentissage au cours de douze tâches successives. Les résultats montrent que, bien que les participants aient déclaré ne pas avoir été aidés par le son, les performances sont nettement améliorées par la présence du son. Ce résultat confirme un bon « mapping » entre l'action effectuée et le son associé.

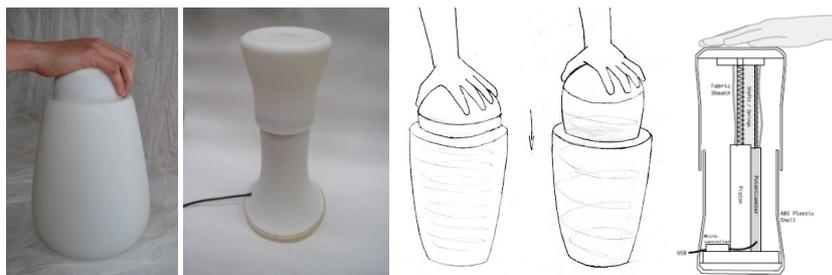


Figure 3.2 : prototypes du « Spinotron » et schéma de conception

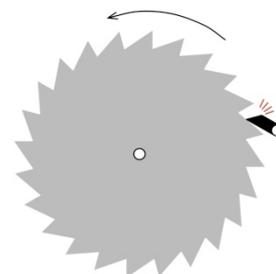


Figure 3.3 : Illustration visuelle de la roue dentée

Michaels (1988) a noté, dans des conditions d'apprentissage intensif, une augmentation des performances dans une tâche à effectuer lorsqu'il y a un bon accord entre une information sensorielle et la fonction de l'objet associé.

Ces résultats mettent en évidence l'influence de la dimension sonore dans un processus interactif avec un objet tangible, et révèle que les dispositifs interactifs constituent un champ d'exploration pertinent pour élaborer des connaissances sur les processus combinant perception et action dans notre environnement sonore quotidien. Par ailleurs, l'étude menée avec le « Spinotron », comme l'étude du « Balancer », valide dans le cadre du design sonore l'intérêt de concevoir des dispositifs intégrant une composante sonore.

3.5.3 Influence de la dimension sonore sur la réponse émotionnelle : le Flops

Le détail sera présenté dans l'article « Emotions are influenced by auditory feedback from a computationally augmented artifact » par Lemaitre et al. L'article est actuellement en révision.

Cette étude a été réalisée de nouveau en collaboration avec l'Ecole Supérieure de Design de Zürich (ZHdK). Un objet a été créé, le « Flops », consistant en un verre qui permet de verser des billes virtuelles (voir photos, figure 3.4). L'objectif est d'étudier les émotions induites (calme-stimulant, agréable-désagréable, dominé) par la dimension sonore lors de la manipulation du dispositif. La tâche des participants, dans le cadre d'un jeu, est de verser exactement dix billes virtuelles. Différents « mapping » sonores, « causal » et « abstrait », sont associés à l'impact de la bille sur une surface, et différents niveaux de manipulation, plus ou moins difficiles, sont contrôlés à partir du modèle de simulation des billes (vitesse et taille des billes, longueur du verre). Pour le « mapping causal », des sons réels d'impact sont utilisés. Pour le « mapping abstrait », des sons ont été créés couvrant différentes valeurs des paramètres, hauteur tonale et centre de gravité spectral – ce dernier paramètre apparaissant comme étant « universel » pour

décrire différentes classes de sons d'objets du quotidien. Les résultats montrent que, même si, bien évidemment, le niveau de difficulté de manipulation du dispositif a la plus grande influence sur les émotions – associées au succès à réaliser la tâche donnée -, le caractère plus ou moins agréable des sons a également une influence, faible, mais significative.

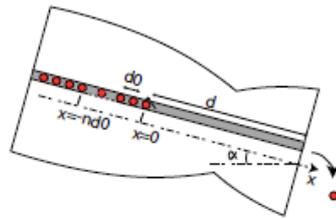


Figure 3.4 : prototypes du « Flops » et schéma de conception / Le « Spinotron » et le « Flops » a la biennale du design à St Etienne (2008)

Nous avons montré que ce caractère peut être manipulé en jouant sur le contenu fréquentiel des sons - émotion davantage négative pour une valeur élevée du centre de gravité spectral - et sur le type de « mapping » sonore mis en jeu - émotion davantage positive pour un « mapping causal ». Ces résultats sont des indications utiles pour le designer sonore qui souhaite travailler sur la relation émotionnelle avec un objet a priori silencieux.

3.5.2 Influence du « mapping » sonore sur l'utilisation d'un clavier : ATM

Le détail est présenté dans l'article « Naturalness influences the perceived usability and pleasantness of an interface's sonic feedback » par Susini et al. (2011).

L'expérience menée sur le « Spinotron » a été réalisée en considérant un seul type de « mapping » basé sur notre hypothèse de départ, laquelle stipule qu'un son « causal » engage de manière intuitive et spontanée une interaction avec un dispositif. L'expérience sur le « Flops » a révélé l'influence d'un paramètre acoustique - le centre de gravité spectral - et du type de « mapping » mis en jeu sur la réponse émotionnelle. La question que nous posons ici dans un contexte interactif plus simple que celui du « Spinotron » ou du « Flops » est la suivante : est-ce qu'un son « causal » est jugé plus fonctionnel et se trouve mieux admis qu'un son « abstrait » ou « arbitraire » ? Précisons, comme nous l'avons indiqué, qu'un « mapping » est dit « abstrait » si la relation entre l'action effectuée et le son associé est basée sur des caractéristiques acoustiques. Par « arbitraire », nous considérons qu'il n'y a aucune relation logique entre l'action et le son associé. Les trois « mapping », respectivement « causal »

« abstrait » et « arbitraire », ont été comparés dans un contexte interactif contrôlé correspondant à l'utilisation d'un clavier numérique (ATM) utilisé pour réaliser des opérations bancaires (retrait et transfert entre comptes). Un son était associé aux touches du clavier. Pour le « mapping causal », les sons utilisés correspondaient à des sons de touche de clavier. Pour le « mapping abstrait », les sons utilisés correspondaient à des sons avec un profil temporel équivalent au profil d'un son de touche de clavier, mais avec un timbre différent. Pour le « mapping arbitraire », les sons utilisés étaient des sons brefs extraits d'une base de données sonores. Deux niveaux de difficulté du dispositif ont été testés : « normal » et « anormal⁸ ». L'originalité de l'expérience réside dans le fait que les auditeurs utilisaient le clavier avec le son qu'ils avaient jugé au préalable. Les résultats montrent qu'avant même d'utiliser le clavier, les sons entendus estimés les plus « naturels » (par rapport à l'action d'appuyer sur une touche de clavier) sont jugés comme étant les plus fonctionnels. Ce jugement persiste après utilisation du clavier : les sons sont jugés significativement plus « naturels », fonctionnels et plaisants. C'est le cas pour le « mapping causal ». Les sons arbitraires sont, quant eux, jugés peu fonctionnels et plaisants, et encore moins après utilisation du clavier. En revanche, les jugements obtenus pour le niveau intermédiaire (« mapping abstrait ») dépendent du niveau de difficulté du dispositif ; ils sont jugés nettement plus fonctionnels et plaisants après utilisation du clavier, cependant, pour un niveau de difficulté « anormal », le « mapping abstrait » n'est plus jugé aussi fonctionnel et plaisant.

Ces résultats confirment notre hypothèse en faveur d'un « mapping causal » et indiquent clairement l'effet négatif d'un « mapping arbitraire ». Par ailleurs, au niveau méthodologique, la comparaison des jugements obtenus, avant et après utilisation du dispositif, a mis en évidence des jugements différents entre un test passif, engageant uniquement une écoute, et un test actif, engageant une interaction. Cette étude amène des conclusions pertinentes pour un designer sonore : éviter un « mapping arbitraire », proposer un « mapping » qui exploite des analogies avec l'action engagée, et évaluer le rendu dans un contexte d'usage.

⁸ Dans le mode « anormal », les touches du clavier ne fonctionnent pas toujours.

Conclusions

Dans la Partie 1, nous avons proposé une définition du design sonore reposant sur le principe suivant : **faire entendre une intention**. L'enjeu est alors de créer une structure sonore adaptée à nos structures de perception. Par conséquent, le design sonore constitue un cadre expérimental pour explorer la perception sonore avec l'objectif final de créer un son utile et plaisant - respectivement la fonction et la forme d'un son - pour un usage donné. Nous avons structuré ce cadre en trois phases : une phase d'analyse qui permet de poser des hypothèses à partir d'un ensemble de connaissances sur nos processus perceptifs ; une phase de création qui concrétise les hypothèses en élaborant un prototype sonore ; une phase de validation testant les hypothèses dans le cadre d'une application.

Ce processus est mis en œuvre dans des projets industriels et constitue un support pédagogique pour introduire des connaissances et des pratiques dans les différents champs du design sonore.

Par ailleurs, l'hypothèse principale de l'articulation entre les recherches menées en perception sonore et les applications en design sonore est basée sur l'idée qu'une partie de l'information nécessaire pour créer un son peut être révélée par l'exploration des processus perceptifs mis en jeu dans notre environnement sonore quotidien. Aussi le cœur de notre projet de recherche porte sur la perception du son des objets du quotidien, que nous avons limité, dans le cadre du design sonore, à des objets manufacturés ou artefacts étendus aux interfaces homme-machine mettant en jeu une interaction sonore.

Dans la Partie 2, plusieurs aspects, allant des stratégies d'écoute mises en jeu aux différents niveaux de description - acoustique et causal - d'un événement sonore, ont été explorés en considérant un grand nombre de classes de sons d'objets. Nous avons montré que le niveau de description - acoustique ou causal - est étroitement lié à la stratégie d'écoute, laquelle dépend de l'expertise de l'auditeur et de sa capacité à identifier un son.

Les travaux sur les imitations vocales ont révélé que l'information sonore nécessaire pour élaborer une représentation perceptive d'un événement sonore peut être basée sur un nombre limité de descripteurs acoustiques. Ce dernier point est cohérent avec le modèle proposé par McAdams (1993) qui postule que la reconnaissance d'un événement sonore repose sur un processus d'analyse, d'extraction et de calcul d'un certain nombre de descripteurs acoustiques, et prend en compte également d'autres processus cognitifs (connaissances, motivation, etc.). L'étude du timbre a permis de préciser ces descripteurs acoustiques pour plusieurs classes de sons d'objets.

Pour finir, il apparaît que l'audition est mieux adaptée à la perception d'une action, et que la dimension temporelle est un facteur important pour distinguer différentes classes d'actions, alors que le timbre permet de révéler les caractéristiques acoustiques qui décrivent une classe d'objet.

Dans la Partie 3, la question de la signification d'un son est abordée dans un processus par lequel la dimension sonore communique une information nécessaire et utile pour interagir avec un objet. La question a été traitée dans le contexte du design sonore en considérant la fonction du son que nous étudions dans le cadre des interfaces homme-machine, et plus particulièrement des dispositifs interactifs.

La description au niveau causal d'un son a mis en évidence deux classes de profils temporels associées respectivement à deux classes d'actions engagées avec un objet : un profil temporel continu qui correspond à une action soutenue ; un profil temporel discontinu qui correspond à une action discrète ou une succession d'actions discrètes. Différents profils temporels ont été considérés dans des actions visant respectivement à guider la manipulation d'un dispositif (« le Spinotron ») ou confirmer une action (« l'ATM »).

Les résultats mettent en évidence l'effet de la dimension sonore pour améliorer les performances, favoriser l'apprentissage et produire une réaction positive - agréable - dans un processus interactif avec un objet. Cela dépend cependant des caractéristiques acoustiques et du type de son - causal, abstrait, arbitraire - mis en jeu, mais aussi de l'aspect fonctionnel du dispositif manipulé. En conclusion, les résultats ont montré qu'une interaction sera d'autant plus pertinente que le son associé permettra d'établir une analogie avec l'action qui en est la cause, et que cette action soit en adéquation avec les manipulations possibles de l'objet.

Perspectives

Trois axes seront poursuivis, concernant :

Les classes d'événements sonores

Les travaux que nous avons menés ont exploré plus spécifiquement les classes d'actions associées aux solides. Deux classes principales émergent, comme vu précédemment. Une perspective de ce travail va consister à poursuivre avec une autre classe d'objets tels que les liquides. Des modèles de synthèse sonore sont maintenant disponibles pour ce type d'événement (<http://www.cs.cornell.edu/projects/HarmonicFluids>). Deux classes d'événements sonores seront plus particulièrement abordées : bulles et écoulement, en collaboration avec l'Université de Verona.

Profils dynamiques et actions

Les travaux ont mis en évidence que l'audition est mieux adaptée pour percevoir une action engagée avec un objet que l'objet lui-même. La dimension temporelle semble porteuse d'une grande partie de l'information. Cette question sera approfondie en sondant plus particulièrement les indices temporels qui sous-tendent les capacités auditives pour la perception des actions. Nous poursuivrons ce travail en collaboration avec le LMA-CNRS en nous intéressant, plus précisément, à la sonie des sons non-stationnaires.

Évaluation, performance et apprentissage dans une interaction sonore

Il existe peu d'études perceptives sur les interactions sonores qui permettent d'en évaluer la qualité en termes de facilitation et d'apprentissage. Nos travaux ont permis de mettre en place des cadres méthodologiques en vue d'étudier l'influence du son lorsque des utilisateurs manipulent des dispositifs sonores interactifs. Nous nous sommes intéressés à la réaction émotionnelle d'une part, et à la mesure de performance d'autre part. Une collaboration avec les équipes IMTR à l'Ircam et KTH à Stockholm sera poursuivie afin de mettre en place une méthodologie propre à l'étude des interactions sonores dynamiques permettant d'évaluer le couplage geste-son en relation avec le niveau de description (acoustique ou causal) et l'apprentissage de dispositifs interactifs dans le contexte d'une tâche à effectuer. Il sera donc nécessaire de créer des exemples pertinents de dispositifs interactifs dans le but de tester des hypothèses de recherche propres à l'interactivité. De ce fait, les dispositifs seront pensés en priorité pour répondre à un cadre expérimental (mesure de performance).

Références

- Ballas, J. A. (1993). Common factors in the identification of an assortment of brief everyday sounds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 250–267.
- Blattner, M. M., Sumikawa, D. A., et Greenberg, R. M. (1989). Earcons and icons : Their structure and common design principles. *Human-Computer Interaction*, 4(1), 11–44.
- Caramiaux, B., **Susini, P.**, Bianco, T., Bevilacqua, F., Houix, O., Schnell, N., Misdariis, N. (2011). Gestural Embodiment of Environmental Sounds: an Experimental Study. NIME. Oslo, Norway.
- Chion, M. (1993). *Le Promeneur Écouteur - Essais d'Acoulogie*. Editions Plume.
- Edworthy, J., Loxley, S. and Dennis, I. (1991). Improving auditory warning design: relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human Factors*, 32(2), 205-231.
- Eriksson, M., & Bresin, R. (2010). Improving running mechanisms by use of interactive sonification. In *Proceedings of the 3rd interactive sonification workshop*. Stockholm, Sweden.
- Gaver, W. (1989). The SonicFinder: an interface that uses auditory icons. *Human-Computer Interaction*, 4(1), 67–94.
- Gaver, W. W. (1993a). What is the world do we hear ? An ecological approach to auditory event perception. *Ecological Psychology*, 5, 1-29.
- Gaver, W. W. (1993b). How do we hear in the world ? Explorations in ecological acoustics. *Ecological Psychology*, 5, 285-313.
- Gérard, Y. (2004). *Mémoire sémantique et sons de l'environnement*. Thèse, Université de Bourgogne.
- Giordano, B., **Susini, P.**, Bresin, R. (2011, à paraître). Experimental methods for evaluation and design of sound-producing objects and interfaces. In *Sonic Interaction Design Book*. IMT press.
- Giordano, B. L., McDonnell, J., & McAdams, S. (2010). Hearing living symbols and nonliving icons: Category specificities in the cognitive processing of environmental sounds. *Brain and Cognition*, 73(1), 7 - 19.

- Godoy, R. I., Haga, E. & Jensenius, A. R. (2006). Exploring music-related gestures by sound-tracing: A preliminary study. In Proceedings of the COST287-ConGAS 2nd International Symposium on Gesture Interfaces for Multimedia Systems (GIMS2006).
- Guastavino, C. (2007). Categorization of environmental sounds. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61, 54–63.
- Guyot, F., Castellengo, M., & Fabre, B. (1997). Étude de la catégorisation d'un corpus de bruits domestiques. Dans *Catégorisation et Cognition: De la Perception au Discours* (p. 41-58). Editions Kimé.
- Gygi, B., Kidd, G. R., & Watson, C. S. (2007). Similarity and categorization of environmental sounds. *Perception & Psychophysics*, 69(6), 839–855.
- Houix, O., Lemaitre, G., Misdariis, N., & **Susini, P.** (2011, en révision). Categorization of environmental sounds, focus on sound event categories , *Journal of Experimental Psychology: Applied*.
- Lemaitre, G., **Susini, P.**, Winsberg, S., Letinturier, B., & McAdams S. (2007). The Sound Quality of Car Horns: A Psychoacoustical Study of Timbre, *Acta Acustica united with Acustica*, 93 (3), 457-468.
- Lemaitre, G., **Susini, P.**, Winsberg, S., Letinturier, B., & McAdams S. (2009). The Sound Quality of Car Horns: Designing new representative sounds. *Acta Acustica united with Acustica*, 95 (2), 356-372.
- Lemaitre, G., Houix, O., Visell, Y., Franinovic, K., Misdariis, N., & **Susini, P.** (2009). Toward the Design and Evaluation of Continuous Sound in Tangible Interfaces: The Spinotron. *International Journal of Human Computer Studies*, 67 (11), 976-993.
- Lemaitre, G., Houix, O., Misdariis, N., & **Susini, P.** (2010). Listener expertise and sound identification influence the categorization of environmental sounds. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 16 (1), 16-32.
- Lemaitre, G., Dessen, A., Aura, K., & **Susini, P.** (2010). Les imitations vocales de sons environnementaux permettent-elles leur reconnaissance ? CFA, Lyon, France.
- Lemaitre, G., Dessen, A., Aura, K. & **Susini, P.** (2011, en révision). Vocal imitations and the identification of sound events, *Ecological Psychology*.
- Lemaitre, G., Houix, O., **Susini, P.**, Visell, Y. & Franinovic, K. (2011, en révision). Emotions are influenced by auditory feedback from a computationally augmented artifact. *IEEE Transactions on Affective Computing*.

- Marcell, M. M., Borella, D., Greene, M., Kerr, E., & Rogers, S. (2000). Confrontation Naming of Environmental Sounds. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22(6), 830-864.
- McAdams, S. (1993). Recognition of auditory sound sources and events. In S. McAdams & E. Bigand (Eds.), *Thinking in sound: The cognitive psychology of human audition*. Oxford: Oxford University Press.
- Michaels, C. F. (1988). S-R compatibility between response position and destination of apparent motion: evidence of the detection of affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 231-240.
- Minard, A., Misdariis, N., Houix, O., **Susini, P.** (2010) Catégorisation de sons environnementaux sur la base de profils morphologiques. CFA, Lyon, France.
- Misdariis, N., Minard, A., **Susini, P.**, Lemaitre, G., McAdams, S. & Parizet, E. (2010). Environmental Sound Perception: Metadescription and Modeling Based on Independent Primary Studies. *Journal on Audio, Speech, and Music Processing*.
- Momtahan and Tansley (1989). An ergonomic analysis of the auditory alarm signals in the operating room and recovery room. Annual Conference of the Canadian Acoustical Association, Halifax, Canada.
- Neuhoff, J. G. (1998). Perceptual bias for rising tones. *Nature*, 395, 123–124.
- Norman, D. (2002). *The Design of Everyday Things*. Editions Basic Books
- O'Carroll (1986). Survey of alarms in an intensive care unit. *Anaesthesia*, 41, 742.
- E. Parizet, E. Guyader, and V. Nosulenko (2008). Analysis of car door closing sound quality. *Applied Acoustics*, 69(1), 12–22.
- Patterson, R. D. (1982). Guidelines for auditory warning systems on civil aircraft. London, Civil Aviation Authority: CAA paper 82017.
- Peeters, R. W. (1960). *Research on Psychological Parameters of Sound*. Edited by W. T. R. 60-249 (Mississippi Southern College).
- Peters, G., Giordano, B., **Susini, P.**, Misdariis, N., & McAdams, S. (2011, à paraître). The Timbre Toolbox: Extracting audio descriptors from musical signals. *J. Acoust. Soc. Am.*
- Rath, M., & Schleicher, D. R. (2008). On the relevance of auditory feedback for quality of control in a balancing task. *Acta Acustica united with Acustica*, 94, 12-20.
- Russo, F. A., & Jones, J. A. (2007). Urgency is a non-monotonic function of pulse rate. *J. Acoust. Soc. Am.* EL122, 185–190.

- Schafer, R. M. (2011). *Le paysage Sonore, la musique du monde*. Editions Wildproject (Nouv. Ed.)
- Schaeffer, P. (1996). *Traité des objets musicaux*. Editions Seuil (Nouv. Ed.)
- Spence, C., & Zampini, M. (2006). Auditory contributions to multisensory product perception. *Acta Acustica united with Acustica*, 92, 1009-1025.
- Suied, C., Susini P., Misdariis N., Langlois S., Smith B., McAdams S. (2005). *Toward a sound design methodology : application to electronic automotive sounds*. ICAD, Limerick, Irland.
- Suied, C., **Susini, P.**, & McAdams S. (2008). Evaluation warning sound urgency with reaction times », *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14 (3), 201-212.
- Suied, C., **Susini, P.**, McAdams, S., & Patterson, R. (2010). Why are natural sounds detected faster than pips? *J. Acoust. Soc. Am.* EL, 127(3), 105-110.
- Susini, P.**, Misdariis, N., McAdams, S., & Winsberg, S. (1998). Caractérisation perceptive de bruits. *Acoustique et Techniques*, 13, 11-15.
- Susini, P.**, McAdams, S., & Winsberg, S. (1999). A multidimensional technique for sound quality assessment. *Acta Acustica united with Acustica*, 85 (5), 650-656.
- Susini, P.**, Gaudibert, P., Deruty, E., & Dandrel L. (2003). Perceptive study and recommandation for sonification categories. ICAD, Boston, USA.
- Susini, P.**, McAdams, S., Winsberg, S., Perry, I., Vieillard, S., & Rodet, X. (2004) Characterizing the sound quality of air-conditioning noise. *Applied Acoustics*, 65 (8), 763-790.
- Susini, P.**, McAdams, S., & Smith, B. (2007). Loudness asymmetries for tones with increasing and decreasing levels using continuous and global ratings. *Acta Acustica united with Acustica*, 93, 623–631.
- Susini, P.**, Meunier, S., Trapeau, R., & Chatron, J. (2010). End level bias on direct loudness ratings of increasing sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* EL, 128 (4), 163-168.
- Susini, P.**, Misdariis, N., Lemaitre, G., & Houix, O. (2011, à paraître). Naturalness influences the perceived usability and pleasantness of an interface's sonic feedback. *Journal on Multimodal User Interface*.
- Susini, P.**, Lemaitre, G., & McAdams, S. (2011, à paraître). Psychological measurement for sound description and évaluation, In *Measuring the impossible – Theory and methods of measurements with persons*. Taylor and Francis press.
- Takeuchi, T. (1993). Auditory information in playing tennis. *Perceptual and motor skills*, 76, 1323-1328.

- VanDerveer, N. J. (1979). *Ecological acoustics: Human perception of environmental sounds*. Cornell University.
- Viemeister, N. F. (1979). Temporal modulation transfer functions based upon modulation thresholds. *J Acoust Soc Am*, 66(5), 1364–1380.
- Vogel, C. (1999) *Etude sémiotique et acoustique de l'identification des signaux sonores d'avertissement en contexte urbain*. Thèse, Université Paris 6.
- Zampini, M., Guest, S., & Spence, C. (2003). The role of auditory cues in modulating the perception of electric toothbrushes. *Journal of Dental Research*, 82 (11), 929-932.
- Zampini, M., Guest, S., & Spence, C. (2004). The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips. *Journal of Sensory studies*, 19, 347-363.

Curriculum Vitae

Patrick Susini

Né le 29 mars 1966, à Landau Plaz, Allemagne

En couple, deux enfants

Téléphone : 01 44 78 16 09

email : susini@ircam.fr

1. Fonction actuelle

Chargé de recherche et responsable de l'équipe Perception et design sonores à l'IRCAM.

Institut de Recherche et de Coordination en Acoustique/Musique

1, Place Igor Stravinsky, 75004 Paris

2. Résumé de mon activité professionnel pour la période 1994 - 2011

Après des études en physique, j'ai obtenu un DESS en réseaux informatiques et exercé en tant qu'ingénieur chez IBM. En 1993, j'obtiens le DEA d'Acoustique de l'Université du Maine, puis j'intègre l'Ircam en 1994 en tant que chargé de recherche dans l'équipe "Perception et Cognition Musicales". En parallèle de mes activités de recherche en psychoacoustique en collaboration avec l'industrie, j'effectue ma thèse sur la perception des sons non-stationnaires et sur les effets de mémoire auditive à court terme, sous la direction de Stephen McAdams. Depuis 2004, je suis responsable de l'équipe "Perception et Design Sonores". Je dirige des travaux de recherche sur les thèmes associés à la perception et à l'organisation d'événements sonores ainsi que sur des thèmes associés à la signification des sons appliquée à la signalétique sonore pour les espaces publics et les interfaces homme-machine. J'ai réalisé plusieurs projets industriels (Renault, PSA, EDF, SNCF) et nationaux (RNRT, Predit, ANR) autour des questions concernant la description du timbre, la mise au point de modèles auditifs, l'étude en qualité et ergonomie sonores. J'ai coordonné jusqu'en 2009 le projet européen CLOSED (FP6-NEST-PATH <http://www.closed.ircam.fr>) centré sur les questions de synthèse sonore et de mesure perceptive de systèmes interactifs. J'ai co-organisé, en 2002 et 2004, les deux premiers colloques internationaux en design sonore de la SFA, et en 2008, la 14^{ème} conférence internationale ICAD qui a eu lieu à Paris. Je suis membre actif du groupe Perception Sonore de la Société Française d'Acoustique (SFA), dont j'ai été le trésorier de 2000 à 2006. J'enseigne la psychoacoustique au Master d'Acoustique Architecturale à l'école d'architecture (ACAR) de Paris Val de Seine de 1997 à 2011. Je participe activement à la création du Master Design Sonore de l'ESBAM qui débutera en septembre 2011.

3. Etudes supérieures

- 1996 - 1999 Doctorat de l'Université du Maine, spécialité Acoustique, sous la direction de Stephen McAdams. Soutenue le 16 décembre 1999 avec la mention très honorable avec les félicitations du Jury

- 1993 DEA d'Acoustique Appliquée - Université des Sciences du Maine. Mention : assez bien

- 1992 DESS de réseaux informatiques et réseaux câblés de vidéocommunication. Université d'Aix-Marseille II. Mention : assez bien

- 1991 Maîtrise de physique et applications. Université d'Aix-Marseille II. ERASMUS à l'Université du Sussex, Brighton, UK. Mention : bien

4. Activités professionnelles

2004 – 2011 Responsable de l'équipe Perception et Design Sonores à l'Ircam. Je coordonne les projets de recherche de l'équipe sur la perception des sources sonores tant d'un point de vue de leur description acoustique et sémantique que de leur représentation en mémoire. Un autre thème développé dans l'équipe concerne l'élaboration de méthodes psychophysiques adaptées pour orienter et valider la conception de sons sur des aspects esthétiques et fonctionnels.

1994 – 2004 Chargé de recherche dans l'équipe Perception et Cognition Musicale à l'Ircam. Mon activité au sein de l'équipe PCM a consisté à aborder la qualité sonore en intégrant et développant des méthodes psychophysiques pour l'étude du timbre ainsi que pour la mesure perceptive en continue.

1994 – 1995 Chargé de mission en acoustique du bâtiment dans le bureau d'étude Delage et Delage. J'ai participé à un projet d'étude concernant l'influence de réflexions précoces sur l'intelligibilité de la parole en vue de la construction d'un espace de contrôle aérien à Tokyo.

1992 – 1993 Ingénieur Réseaux informatiques, IBM. J'ai participé à la configuration technique du réseau information des centres hospitaliers de Marseille.

5. Contrats industriels

Le domaine de recherche en psychoacoustique s'est étendu depuis plus de 10 ans à des applications dans le secteur industriel. Ce développement a permis de financer plusieurs projets de recherche avec des objectifs applicatifs immédiats mais aussi méthodologiques visant à intégrer ou à adapter des méthodes issues de la psychoacoustique aux problématiques de la recherche industrielle. J'ai principalement effectué des contrats visant à étudier la qualité sonore dans le domaine de l'automobile afin de fournir des résultats utiles (modèles auditifs, indicateurs, spécifications, ...) pour l'amélioration du confort acoustique. Un autre type d'investissement a consisté à apporter mon expertise dans le domaine de la psychoacoustique pour le suivi de projets industriels et l'encadrement de thèses CIFRE. Les différentes collaborations ont été très fructueuses en terme d'échanges technique et scientifique, et ont permis de valider mes travaux par des cas concrets.

2009 – 2011 **Contrat de recherche en horlogerie**

2008 – 2011 **Contrat de recherche avec Renault / Thèse CIFRE : Aurélie Frère**
• Perception du bruit des moteurs diesel

2006 **Contrat de recherche avec Renault et la SNCF**
• Emergences temporelles de bruits non-voulus

2005 – 2007 **Contrat de recherche avec Renault**
• Design sonore d'interfaces homme machine sonores pour l'automobile

2003 – 2007 **Contrat de recherche avec Renault / Thèse CIFRE : Clara Suied.**
• Interface homme/machine en habitacle véhicule.

2003 – 2004 **Contrat de recherche avec Renault**
• Influence de paramètres visuels et textuels sur l'évaluation de la qualité sonore

2002 – 2005 **Contrat de recherche avec la SNCF / Thèse CIFRE : Julien Tardieu.**
• Design sonore des ambiances de gares et de trains.

2000 – 2002 **Contrat de recherche avec Klaxon / Thèse CIFRE : Guillaume Lemaître.**
• Caractérisation perceptive et identité sonore des Klaxons.

2001 **Contrat de recherche avec Bouygues Telecom**

- Développement d'un environnement de navigation vocale.
- 1999 – 2000 **Contrat de recherche GRECO (EDF, LNE, INRA)**
- Qualité sonore des convecteurs d'air climatisé.
 - Comparaison méthodologique entre approches psychophysique et analyse sensorielle.
- 1997 **Contrat de recherche avec la SNCF**
- Caractérisation de la gêne sonore des différents types de transports.
- 1996 – 1999 **Contrat de recherche GIE (Renault et PSA)**
- Développement d'une méthodologie d'évaluation perceptive des sons non-stationnaires.
 - Etude spécifique des phases d'accélération de véhicules et des scènes sonores urbaines.
- 1995 – 1996 **Contrat de recherche GIE (Renault et PSA)**
- Etude physique et perceptive de sons de voiture en régime stationnaire.

6. Projets nationaux et européens

Outre des collaborations industrielles, j'ai mené des collaborations scientifiques dans le cadre de partenariats institutionnels tout d'abord avec des financements nationaux (PREDIT, ANR) et plus récemment, européens. J'ai coordonné le projet européen CLOSED qui a favorisé de nombreux échanges avec l'université de Vérone, l'université Technologique de Berlin et l'école de design de Zürich. Par ailleurs, je participe au projet SID qui réunit une vingtaine d'institutions européennes autour des récentes problématiques de recherche sur les relations entre action et perception dans le domaine du design sonore interactif. D'autre part, je participe au niveau européen au projet MINET concernant la question importante de la mesure, et plus particulièrement les techniques et méthodes de mesure acoustique intégrant les facteurs humains. Très récemment, nous venons de soumettre un nouveau projet, SkAt, dans le programme FP7.

2010 – 2013 **Projet RoadSense** / Financement : ANR.

2007 – 2011 **Délégué national du projet Sonic Interaction Design (SID)**
Programme : COST (<http://www.cost-sid.org>)

2007 – 2009 **Projet SamplerOrchestrator** / Collaboration : Universon. Financement : ANR.

2006 – 2009 **Participant à l'Action de Coordination Mtl NETWORK (MINET)**
Programme : FP6-2004-NEST-PATH (<http://minet.wordpress.com>)

2006 – 2009 **Coordinateur du Projet CLOSED, STREP Measuring the Impossible (Mtl)**
Programme : FP6-2004-NEST-PATH (<http://www.closed.ircam.fr>)

2001 – 2002 **Projet RadioThème**

Collaborations : FTR&D, Radio France, Hyptique. Financement : RNRT.

- Développement d'un environnement de navigation sonore de la radio sur Internet.

2000 – 2002 **Projet PREDIT SQUAD**

Collaborations : 01 dB, METRAVIB RDS, Visteon, PSA, Renault.

Financement : PREDIT

- Réalisation d'un modèle de détection et de gêne des bruits parasites d'habitacles.

2000 **Projet PREDIT Energie-Environnement**

Collaborations : Univ. de Bordeaux I, 01 dB, INRETS.

Financement : PREDIT

- Etude de la transformation du paysage sonore de la ville de Bordeaux.

7. Encadrement de jeunes chercheurs

Une grande partie de mon travail de recherche s'est effectuée en collaboration avec mes collègues, et avec des étudiants en Master et en thèse. J'ai toujours orienté le travail avec les étudiants vers une collaboration en équipe afin de favoriser une dynamique aussi bien dans leur travail qu'au sein de l'équipe. Il me semble aussi que cela favorise l'intérêt et la projection des jeunes chercheurs vers des projets scientifiques de plus grandes envergures et davantage personnels. Certains des étudiants que j'ai encadrés en Master comme A. Devergie, M. Derio, L. Pruvost et R. Trapeua ont poursuivi en thèse. Ceux que j'ai encadrés en thèse poursuivent actuellement leur recherche en post-doctorat.

Stages Master / Ingénieur

2010	Emmanule Ponsot - Ecole Centrale Lyon Paul Paindavoine - Ecole Centrale Marseille
2009	Regis Trapeau - Stage de Master 2 AST Julien Moumné - Stage de Master 2 Paris VI parcours ATIAM
2006	Aymeric Devergie - Stage de Master 2 Paris VI parcours ATIAM Marie Magnin - Stage d'ingénieur de l'Université de Compiègne
2005	Pierre Guelton - Stage d'ingénieur de l' Université de Compiègne Maël Derio - Stage de Master 2 de l'Université du Maine Laurent Pruvost - Stage de Master 2 Université Aix-Marseille
2000-2002	Emmanuel Deruty - Assistant musical – Projet RadioThème (RNRT). Piotr Gaudibert - Assistant de recherche – Projet RadioThème (RNRT).
2000-2001	Sandrine Vieillard - Assistante de recherche – Contrats de recherche GRECO (EDF) et RadioThème (RNRT).
2000	Marine Slama - Stage DESS Acoustique du Transport – Contrat de recherche SQUAD (PREDIT).

Thèses

Les chiffres indiqués entre parenthèses indiquent le taux d'encadrement estimé.

2007-2010	Aurélie Frère (50%), thèse CIFRE, Paris 6. Perception des bruits de moteur de diesel. Directeur de thèse : Pr.Volker Mellert (Oldenburg University)
2003-2006	Clara Suied (90%), thèse CIFRE, Paris 6. De l'urgence perçue au temps de réaction : application aux alarmes sonores. Soutenue le 13 avril 2007. Mention : Très Honorable. Directeur de thèse : S. McAdams.
2002-2006	Julien Tardieu (90%), thèse CIFRE, Paris 6. De l'ambiance à l'information sonore dans un espace public. Soutenue le 20 décembre 2006. Mention : Très Honorable. Directeur de thèse : S. McAdams
2000-2003	Guillaume Lemaître (90%), thèse CIFRE, Université du Maine. Etude perceptive et acoustique de nouveaux avertisseurs sonores automobiles. Soutenue le 8 avril en 2004. Mention : Très Honorable avec les Félicitations du Jury. Directeur de thèse : S. McAdams

8. Animation de la recherche

La Société Française d'Acoustique (SFA)

Depuis l'année 2000, je suis membre et trésorier du Groupe Audition. J'ai participé à la redéfinition des thèmes couverts actuellement par ce groupe qui se nomme désormais Groupe Perception Sonore (GPS) sous la responsabilité d'Etienne Parizet. Les journées fondatrices de ce nouveau

groupe ont eu lieu à l'INSA de Lyon en janvier 2007. Au sein de ce groupe, j'ai aussi co-organisé les Journées du Design Sonore, colloque international, avec F. Guyot et V. Maffiolo en 2002, et avec F. Guyot en 2004. Journées fortement bénéficiaires qui permettent aujourd'hui au groupe d'organiser d'autres événements comme les JJCAAS ou les journées sur la qualité des systèmes audio spatialisés qui ont eu lieu à Rennes en mars 2008. Récemment, nous avons organisé la 14^{ème} édition de la conférence ICAD (International Conference on Auditory Display) à l'Ircam.

Participation à des jurys de thèse

V. Durin (Paris, 2009), A. Sköld (Chalmers, 2008), C. Suied (Paris, 2007), J. Tardieu (Paris, 2006), E. Geissner (Lyon, 2006), B. Lenindre (Paris, 2006), I. Bouillet (Marseille, 2005), V. Koehl (Lyon, 2005), G. Lemaitre (Paris, 2004).

Diffusion vers le grand public et vulgarisation scientifique

- Participation et exposition à la Biennale Internationale du Design, exposition "Demain, c'est aujourd'hui" en novembre 2008, St Etienne.
- Interview pour l'émission "Scène du mois" de la télé internet <http://lachainetele.tv>, septembre 2007
- Participation et exposition à la Biennale Internationale du Design, exposition "Demain, c'est aujourd'hui" en novembre 2006, St Etienne.
- Interview pour le dossier sur le son de la revue Eurêka parue en mars 2006.
- Participation à "La petite étude de caractère acoustique d'une portière", le vendredi 3 février de 22h30 à 00h sur France Culture dans l'émission "Surpris par la nuit".
- Interview pour la revue Rail & Recherche parue en décembre 2005.
- Participation au catalogue de l'exposition D-Day, Beaubourg en juin 2005.
- Participation au documentaire d'Andréa Bergala sur le Design sonore pour Arte (diffusion courant 2005, et aussi lors de l'exposition design "D. Day" qui aura lieu à Beaubourg en juin 2005).
- Enregistrement pour l'émission « Question design », France culture, vendredi 21 janvier 2005.
- Enregistrement pour l'émission « Travaux publics », France culture, mercredi 15 septembre 2004
- Participation à l'émission « Le journal & le magazine de la Santé », France 5, sur le thème de la psychoacoustique, lundi 19 janvier 2004
- Participation à la journée « Sounds of the Futur » organisée par M. Schaefer et B. Delage, Paris, 1999.

9. Enseignement

Mes connaissances théoriques des domaines de l'acoustique et de la psychologie ainsi que mes collaborations multiples avec le monde industriel m'ont permis de développer un cours complet sur l'approche de la qualité sonore, que j'enseigne depuis 1999 dans le cadre du DESS puis du Master d'Acoustique Architecturale (30 heures/an). Le cours s'articule autour de la perception et de l'étude de l'objet sonore en intégrant les concepts théoriques et méthodologiques. Il récapitule les connaissances physiologiques du système auditif en présentant les modèles numériques qui permettent de simuler les percepts de l'audition tels que la sonie, l'acuité, la rugosité et la hauteur tonale. D'autre part, le cours développe les méthodes de la psychologie expérimentale (psychophysique, catégorisation, MDS, ACP) et les modèles de la perception en présentant les théories écologique et cognitive. Ces différentes notions sont illustrées dans une grande partie du cours par des travaux récents effectués dans divers laboratoires sur l'étude de la qualité sonore. Cet enseignement propose un bagage à la fois théorique et méthodologique aux étudiants, ce qui représente une ouverture sur des domaines qu'ils connaissent peu.

- 1999-2010 CEAA/Master Acoustique Architecturale, Ecole d'Architecture de Paris-La-Défense / Université Paris VI. Cours de Psychoacoustique, qualité et environnement sonores.
- 1997-2001 DESS Acoustique du Transport, Université de Compiègne. Cours de psychophysique.
- 2000-2001 DEA Acoustique Appliquée, Université des Sciences du Maine. Cours de psychophysique.

10. Publications

Chapitres de Livre

- 2011 Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S., « Psychological measurement for sound description and évaluation », In « Measuring the impossible – Theory and methods of measurements with persons », publié par Taylor and Francis, parution prévue en 2011
- Giordano, B., Susini, P., Bresin, R. « Experimental methods for evaluation and design of sound-producing objects and interfaces », In « Sonic Interaction Design Book » publié par IMT press, parution prévue en 2011

Articles dans des revues internationales avec comité de lecture

- 2011 Peters, G., Giordano, B., Susini, P., Misdariis, N., McAdams, S. « The Timbre Toolbox: Extracting audio descriptors from musical signals », *J. Acoust. Soc. Am.* (accepté)
- Susini, P., Misdariis, N., Lemaitre, G., Houix, O. « Naturalness influences the perceived usability and pleasantness of an interface's sonic feedback », *Journal on Multimodal User Interface* (accepté)
- 2010 Lemaitre, G., Houix, O., Misdariis, N., Susini, P., « Listener expertise and sound identification influence the categorization of environmental sounds », *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 16(1), 2010, pp. 16-32.
- Misdariis, N., Minard, A., Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S., Parizet, E., « Environmental Sound Perception: Metadescription and Modeling Based on Independent Primary Studies », *Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, Février 2010
- Suied, C., Susini, P., McAdams, S., Patterson, R., « Why are natural sounds detected faster than pips? », *J. Acoust. Soc. Am. EL*, Mars 2010, vol. 127, n° 3, pp. 105-110
- Susini, P., Meunier, S., Trapeau, R., Chatron, J., « End level bias on direct loudness ratings of increasing sounds », *J. Acoust. Soc. Am. EL*, Octobre 2010, vol. 128, n° 4, pp. 163-168
- 2009 Lemaitre, G., Susini, P., Winsberg, S., Letinturier, B., McAdams S., « The Sound Quality of Car Horns: Designing new representative sounds », *Acta Acustica united with Acustica*. 95(2), 2009, pp. 356-372. doi: 10.3813/AAA.918158
- Lemaitre, G., Houix, O., Visell, Y., Franinovic, K., Misdariis, N., Susini, P., « Toward the Design and Evaluation of Continuous Sound in Tangible Interfaces: The Spinotron », *International Journal of Human Computer Studies*, 67(11), 976-993, 2009. doi:10.1016/j.ijhcs.2009.07.002
- Susini, P., Houix, O., Misdariis, N., Smith B., Langlois S., « Instruction's effect on semantic scale ratings of interior car sounds », *Applied Acoustics*, 70(3), 2009, pp. 389-403. doi:10.1016/j.apacoust.2008.06.008

- Tardieu, J., Susini, P., Poisson, F., Kawakami, H., McAdams, S., « The design and evaluation of an auditory way-finding system in a train station », *Applied Acoustics*, 70(9), 2009, pp. 1183-1193.
- 2008 Suied, C., Susini, P., McAdams S., « Evaluation warning sound urgency with reaction times », *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(3), 2008, pp. 201-212. doi:10.1037/1076-898X.14.3.201
- Tardieu, J., Susini, P., Poisson, F., Lazareff, P., McAdams S., « Perceptual study of soundscapes in train stations », *Applied Acoustics*, 69(12), 2008, pp. 1224-1239. doi:10.1016/j.apacoust.2007.10.001
- 2007 Susini, P., McAdams, S., Smith, B. K., « Loudness asymmetries for tones with increasing and decreasing levels using continuous and global ratings », *Acta Acustica united with Acustica*, 93(4), 2007, pp. 623-631.
- Lemaitre, G., Susini, P., Winsberg, S., Letinturier, B., McAdams S., « The Sound Quality of Car Horns: A Psychoacoustical Study of Timbre », *Acta Acustica united with Acustica*, 93(3), 2007, pp. 457-468.
- 2004 Susini, P., McAdams, S., Winsberg, S., Perry, I., Vieillard, S., Rodet, X., « Characterizing the sound quality of air-conditioning noise », *Applied Acoustics*, 65(8), 2004, pp. 763-790. doi:10.1016/j.apacoust.2004.02.003
- 2002 Susini, P., McAdams, S., Smith, B. K., « Global and continuous loudness estimation of time-varying levels », *Acta Acustica united with Acustica*, 88(4), 2002, pp. 536-548.
- 2000 Susini, P., McAdams S., « Psychophysical validation of a proprioceptive device by cross-modal matching of loudness », *Acta Acustica united with Acustica*, 86(3), 2000, pp. 515-525.
- 1999 Susini, P., McAdams, S., Winsberg, S., « A multidimensional technique for sound quality assessment », *Acta Acustica united with Acustica*, 85(5), 1999, pp. 650-656.

Articles en révision

- Houix, O., Lemaitre, G., Misdariis, N., Susini, P., « Categorization of environmental sounds, focus on sound event categories », *Journal of Experimental Psychology: Applied*
- Lemaitre, G., Houix, O., Susini, P., Visell, Y., Franinovic, K. « Emotions are influenced by auditory feedback from a computationally augmented artifact », *IEEE Transactions on Affective Computing*
- Lemaitre, G., Dessen, A., Aura, K., Susini, P., « Vocal imitations and the identification of sound events », *Ecological Psychology*

Articles de vulgarisation

- Susini, P., Misdariis, N., « Perspectives en design sonore », *Biennale du Design de Saint-Etienne, Azimuts*, 28, pp. 76-78, 2007.
- Tardieu, T., Susini, P., Poisson, F., Kawakami, H., « Approche méthodologique pour l'amélioration de l'usage d'une gare par le sonore », *Acoustique et Techniques*, 44, 2006, pp. 46-50.
- Poisson, F., Tardieu, T., Susini, P., Kawakami, H., « Amélioration de l'usage d'une gare par le sonore: méthodologie et réalisation », *Revue Générale des Chemins de Fer*, 154, 2006, pp. 7-17.
- Susini, P., Misdariis, N., McAdams, S., Winsberg, S. « Caractérisation perceptive de bruits », *Acoustique et Techniques*, 13, 1998, pp. 11-15.

Résumé et actes de congrès à comité de lecture

- Susini, P., Ponsot, E., Meunier (2011). End-level dependency of loudness of increasing sounds: a time persistent effect, Forum Acusticum, Aalborg.
- Caramiaux, B., Susini, P., Bianco, T., Bevilacqua, F., Houix, O., Schnell, S., Misdariis, N. (2011). Gestural Embodiment of Environmental Sounds: an Experimental Study. NIME, Oslo
- Meunier, S., Susini, P., Trapeau, R., Chatron, J. (2010). Global loudness of ramped and damped sounds. ICA, Sydney.
- Susini, P., Meunier, S., Trapeau, R., Chatron, J. (2010). Loudness of ramped and damped sounds: comparison of global loudness and loudness change. CFA, Lyon.
- Meunier, S., Susini, P., Trapeau, R., Chatron, J. (2010). Asymmetry in loudness change of ramped and damped sounds. CFA, Lyon.
- Houix, O., Lemaitre, G., Misdariis, N., Susini, P., Urdapilleta, I. (2010) Catégorisation des sons produits par des objets solides. CFA, Lyon.
- Minard, A., Misdariis, N., Houix, O., Susini, P. (2010) Catégorisation de sons environnementaux sur la base de profils morphologiques. CFA, Lyon.
- Lemaitre, G., Dessein, A., Aura, K., Susini P. (2010) Les imitations vocales de sons environnementaux permettent-elles leur reconnaissance? CFA, Lyon.
- Tardieu, J., Susini, P., Poisson, F., Kawakami, H., McAdams, S. (2010) Auditory Information In The Soundscapes Of Train Stations : From Perceptual Analysis To Sound Design. 1st EAA EuroRegio, Congress on Sound and Vibration, Ljubljana, Slovenia.
- Tardieu, J., Susini, P., Poisson, F., Kawakami, H., McAdams, S. (2010) Sound signals to improve way-finding in a train station. Proceedings of the IoA/ABAV, Noise in the Built Environment, Ghent, Belgique.
- Houix O., Lemaitre G., Misdariis N., Susini P., Urdapilleta I. (2010) A perceptive categorization of sounds produced the interaction of solid objects. 58th meeting of the Acoustical Society of America, Baltimore, USA.
- Lemaitre, G., Houix, O., Franinovic, K., Visell, Y., Susini, P. (2009). The Flops glass: a device to study emotional reactions arising from sonic interactions, Sound and Music Computing conference (SMC), Porto, Portuga, 2009.
- Susini P., Misdariis N., Houix O., Lemaitre G. (2009). Does a "natural" sonic feedback affect perceived usability and emotion in the context of use of an ATM? Sound and Music Computing conference (SMC), Porto, Portugal, 2009.
- Susini, P., McAdams, S. (2008). Loudness asymmetry ratings between accelerating and decelerating car sounds. Invited paper. Acustics'08 (Invited paper).
- Lemaitre, G., Houix, O., Misdariis, N., Susini, P. (2008). Naïve and expert listeners use different strategies to categorize everyday sounds. Acustics'08 (Invited paper).
- Houix, O., Lemaitre, G., Misdariis, N., Susini, P. (2008). Classification of everyday sounds : influence of the degree of sound source identification. Acustics'08 (Invited paper).
- Suied, C., Susini, P., McAdams, S. (2008). Fast Detection for Natural Animal Sounds, Acustics'08.
- Misdariis, N., Lang, A., Katz, B., Susini, P. (2008) Perceptual effects of radiation control with a multi-louspeaker device. Acustics'08.
- Minard, A., Susini, P., Misdariis, N., Lemaitre, G., McAdams, S., Parizet, E. (2008). Two-level description of environmental sounds: comparison and generalization of 4 timbre studies. Acustics'08.

- Minard, A., Susini, P., Misdariis, N., Lemaitre, G., McAdams, S., Parizet, E. (2008). Environmental sound description : comparison and generalization of 4 timbre studies, CHI, Firenze.
- Aura, K., Lemaitre, G., Susini, P. Verbal imitations of sound events enable recognition of the imitated sound events. Acustics'08.
- Kawakami, H., Tardieu J., Susini P., Poisson F. (2006). The sound orientation system at Montparnasse station. World Forum for Acoustic Ecology, Hiroasaki.
- Susini, P., Misdariis G. , Lemaitre L. , Houix O. , Rocchesso D. , Polotti P. , Franinovic K., Visell Y., Obermayer K., Purwins H., Adiloglu K. (2006). Closing the Loop of Sound Evaluation and Design. 2nd ISCA/DEGA Tutorial & Research Workshop on Perceptual Quality of Systems, Berlin.
- Susini, P., Guelton P. (2006). Effets de mémoire auditive liés à la perception d'une séquence de sons environnementaux. CFA, Tours.
- Suied, C., Pruvost L., Susini P., Misdariis N., Langlois S., McAdams S. (2006). Speeded detection of sound signals based on temporal differences. ASA, Rhodes Island.
- McAdams, S., Giordano B., Susini P., Peeters G., Rioux V. (2006). A meta-analysis of acoustic correlates of timbre dimensions. ASA, Hawaii.
- Susini, P., McAdams S., Smith B. (2005). Loudness asymetries for tones with increasing and decreasing levels. ICAD, Limerick.
- Susini, P., McAdams S., Misdariis N., Lemaitre G., Winsberg S. (2005). Timbre des sons environnementaux. CIM, Montréal.
- Suied, C., Susini P., Misdariis N., Langlois S., Smith B., McAdams S. (2005). Toward a sound design methodology : application to electronic automotive sounds. ICAD, Limerick.
- Tardieu, J., Susini, P., Poisson, F. (2004) Soundscape design in train stations, I: soundscape function and identity. CFA/DAGA, Strasbourg, France.
- Susini, P., McAdams, S. (2004). Temporal asymetry in loudness. CFA/DAGA, Strasbourg, France. (Invité)
- Lemaitre, G., Susini, P., Winsberg, S., McAdams, S. (2004) A method to assess the ecological validity of laboratory-recorded car horn sounds. CFA/DAGA, Strasbourg, France.
- Susini, P., Gaudibert, P., Deruty, E., Dandrel L (2003) Perceptive study and recommandation for sonification categories. International Conference on Auditory Display, University of Boston, 292-295.
- Lemaitre, G., Susini, P., Winsberg, S., McAdams S. (2003) Perceptively based design of new car horns sounds. International Conference on Auditory Display, University of Boston, 47-50.
- Susini, P, Vieillard, S., al. (2002). Sound Navigation : Sonified Hyperlinks. Conference on Auditory Display, Kyoto, Japan
- Lemaitre, G, Susini, P., al. (2002) Perceptual characterisation of the timbre of car horns. EAA congress, Séville, Espagne.
- Susini, P., McAdams, S. (2002). Influence of sound-directed attentional focus on overall loudness ratings. EAA congress, Séville, Espagne.
- Dufournet, D., P. Susini, et al. (2001). An annoyance-meter for Squeaks and Rattles diagnostic. ICA, Rome, Italie.
- Junker, F., Susini, P. et al. (2001). Sensory evaluation of air-conditioning noise: Comparative analysis of two methods. ICA, Rome, Italie.

- Susini, P., Perry, I. et al. (2001). Sensory evaluation of air-conditioning noise : Sound design and psychoacoustic evaluation. ICA, Rome, Italie.
- Susini, P., McAdams, S. (2000). Effet de récence dans une tâche de jugement de la sonie. 5ème Congrès français d'acoustique, Lausanne, Suisse.
- Meunier, S., Susini, P. et al. (1999). Effect of time distribution of energy on loudness evaluation. EAA & ASA joint meeting, Berlin, Allemagne, Journal of the Acoustical Society of America.
- Susini, P., Maffiolo, V. (1999). Loudness evaluation of urban soundscapes by a cross-modal matching method. EAA & ASA joint meeting, Berlin, Allemagne, Journal of the Acoustical Society of America.
- Susini, P., McAdams, S. (1998). Global and continuous judgements of sounds with time-varying intensity : cross-modal matching with a proprioceptive input device. ICA & ASA joint meeting, Seattle, USA, Journal of the Acoustical Society of America.
- Misdariis, N., Smith, B. K. et al. (1998). Validation of a Multidimensional Distance Model for Perceptual Dissimilarities among Musical Timbres. ICA & ASA joint meeting, Seattle, USA, Journal of the Acoustical Society of America.
- McAdams, S., Susini, P. et al. (1998). Multidimensional characterisation of perceptual and preference judgements of vehicules and environmental noises. Proceedings of Euro-Noise 98, Munich, Allemagne.
- Susini, P., McAdams, S. et al. (1997). Caractérisation perceptive des bruits de véhicules. 4ème Congrès français d'acoustique, Marseille, France.
- Susini, P., McAdams, S. et al. (1997). Perceptual characterisation of vehicules noises. EEA Symposium: Psychoacoustic in Industry and Universities, Eindhoven, The Netherlands. (Invité)
- Santon, F., Marchioni, A., Susini, P. (1994). L'intelligibilité de la parole en présence d'un écho et de bruit. Journal de Physique, I. 537 - 540. 3ème Congrès français d'acoustique, Toulouse, France, 1994.

Actes de congrès sans comité de lecture

- McAdams, S., Susini, P. (1998). Caractérisation perceptive des bruits de véhicules. Actes du Congrès SIA/SFA, Paris, France.

Séminaires

- Susini, P., Misdariis, N., Cera, A. (2006). Signalétique sonore. Prtes ouvertes Ircam, Paris.
- Susini, P. (2006). Effet de la mémoire à court terme sur la perception sonore, Ircam, Paris.
- Susini P., Tardieu J. (2006) participation à la 3ème édition de la Semaine du Son, Ircam. Paris.
- Susini P. (2005) participation à la 2ème édition de la Semaine du Son, Ircam. Paris.
- Susini P. (2004) participation à la 1er édition de la Semaine du Son, Ircam. Paris.
- Susini, P., Deruty, E. (2002), Projet RadioThem, Ircam, Paris.
- Susini, P. (2001). Méthodes de détection et de caractérisation des bruits. Journées de formation 01dB, Paris.
- Susini, P. (1999). Perception évolutive et globale de sons non stationnaires. Soutenance du Doctorat d'Acoustique de l'Université du Maine. Ircam, Paris.
- Susini, P. (1999). Approche psychoacoustique de la qualité sonore. Journée Eurosyn, Paris.
- Susini, P. (1998). Sound an ergonomoy. On Sound Design. B. Delage and H. Engelen. Stockholm: 14-18.
- Susini, P. (1998). Présentation d'une méthode d'évaluation de la sonie de sons non-stationnaires, séminaire Ircam, Paris.
- Susini, P. (1997) 1/ Caractérisation perceptive du timbre par analyse multidimensionnelle, 2/ Méthode d'évaluation en continu par appariement inter-modal, séminaire du LMA, Marseille.

Susini, P. (1997). Etude perceptive de sons stationnaires et non stationnaires : application aux bruits de véhicules, Journée thématique sur la qualité acoustique organisée par Innovation 128, Paris.

Rapports de contrats

Houix, O., Misdariis, N., Susini, P. (2005) Design sonore d'interfaces homme machine sonores pour l'automobile, Renault.

Susini, P., Houix, O., Misdariis, N. (2003) Influence des informations ajoutées sur les jugements d'une séquence sonore II : résultats, Renault, 33.

Susini, P., Houix, O., Misdariis, N. (2003) Influence des informations ajoutées sur les jugements d'une séquence sonore I : protocole expérimental, Renault, 12.

Susini, P., Vieillard, S. (2002). Etude des hyperliens sonores II: Pertinence d'un ensemble de paramètres acoustiques sur le soulignement sonore d'un mot. Projet RNRT, Radio Thème.

Susini, P., Gaudibert, P. (2002) Représentation fonctionnelle. Projet RNRT, Radio Thème.

Susini, P. (2002) Interactions son/image, Projet de recherche EliasArt, 1-39.

Susini, P., Vieillard, S. (2001). Elaboration d'un modèle de détection automatique et d'un estimateur de désagrément de bruits parasites. PREDIT - Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie.

Lemaître, G, Susini, P. (2001). Etude de l'influence de la carrosserie sur la perception des différences entre avertisseurs sonores. Klaxon.

Susini, P., Vieillard, S. (2001). Etude des hyperliens sonores I: Elaboration expérimentale Projet RNRT, Radio Thème.

Susini, P.(2000). Etude psychoacoustique de bruits d'unités intérieures de climatisation, II. EDF.

Susini, P. (2000). L'approche psychoacoustique de la qualité sonore. PREDIT - Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

Susini, P., Slama, M. (2000). Etude psychoacoustique de bruits parasites à l'intérieur d'un habitacle de voiture. France, PREDIT - Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie.

Susini, P. (1999). Contrôle et évaluation des caractéristiques temporelles de montée en régime moteur. GIE PSA/Renault.

Susini, P. (1999). Etude psychoacoustique de bruits d'unités intérieures de climatisation, I. EDF.

Susini, P. (1998). Application de la méthode d'évaluation de l'intensité perçue par appariement inter-modal aux sons d'accélération de voitures, GIE PSA/Renault.

Susini, P. (1998). Evaluation de la sonie de sons extraits de l'environnement urbain par appariement inter-modal. GIE PSA/Renault.

Susini, P. (1998). Application de la méthode d'évaluation de l'intensité perçue par appariement inter-modal aux sons d'accélération de voitures, GIE PSA/Renault.

Susini, P. (1998). Evaluation de la sonie de sons extraits de l'environnement urbain par appariement inter-modal. GIE PSA/Renault.

Susini, P. (1997). Revue bibliographique des méthodes de jugement perceptif continu de sons non stationnaires. GIE PSA/Renault.

Susini, P. (1996). Perception acoustique des sons de véhicules égalisés en sonie, GIE PSA/Renault.

Brevets

Peeters, G., McAdams, S., Susini, P., Misdariis, N., Krimphoff, J., Smith, B.K. (2001) Procédé de caractérisation du timbre d'un signal sonore selon au moins un descripteur, USA: CNRS, Ircam, France Télécom (Patent).

Documents audio/visuels

Guyot, F, Susini, P. (2004) Sound Design : product, signaling, space, media. DVD interactif, textes, sons et images associés au colloque international de design sonore, Paris, France.