



HAL
open science

Sciences du Design Sonore - Approche intégrée du design sonore au sein de la recherche en design

Nicolas Misdariis

► **To cite this version:**

Nicolas Misdariis. Sciences du Design Sonore - Approche intégrée du design sonore au sein de la recherche en design. Acoustique [physics.class-ph]. Université de Technologie Compiègne (UTC), 2018. tel-02003043

HAL Id: tel-02003043

<https://hal.science/tel-02003043>

Submitted on 1 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

par Nicolas Misdariis

Sciences du Design Sonore

Approche intégrée du design sonore au sein de la recherche en design

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme
d'Habilitation à Diriger des Recherches



Soutenu : le lundi 3 décembre 2018

Spécialités : Acoustique et Vibrations
Sciences de l'Information et de la Communication



Université de Technologie de Compiègne

Habilitation à Diriger des Recherches

Présentée par **Nicolas Misdariis**

Sciences du Design Sonore
Approche intégrée du design sonore au sein de la recherche en design

Soutenance : le 3 Décembre 2018

devant le jury composé de :

M ^{me} Stefania SERAFIN (rapporteure) :	Professor, Aalborg University
M ^{me} Annie GENTES (rapporteure) :	MCF HDR, Telecom ParisTech
M ^r Nicolas DAUCHEZ (rapporteur) :	Professeur, UTC
M ^r Jean-François PETIOT (examinateur) :	Professeur, Ecole Centrale Nantes
M ^r Olivier GAPENNE (examinateur) :	Professeur, UTC

HDR – Nicolas Misdariis

• MEMOIRE •

- 22 oct. 2018 -

Sciences du Design Sonore

Approche intégrée du design sonore au sein de la recherche en design

Table des matières

REMERCIEMENTS	7
RESUME	9
SYNOPSIS	10
INTRODUCTION	11
I. CADRE GENERAL	11
I.1 DESIGN SONORE : TENTATIVE DE DEFINITION(S)	12
I.1.1 CARACTERISATION	12
I.1.2 DEFINITIONS EXPLICITES	13
I.1.3 DEFINITIONS IMPLICITES	14
I.1.4 DEFINITION CONJUGUEE	17
I.1.5 CONTRE-DEFINITION	19
I.2 DESIGN ET RECHERCHE EN DESIGN : TENTATIVE D'APPREHENSION(S)	19
I.2.1 RETRACER L'HISTOIRE DU DESIGN	19
I.2.2 DEFINIR LE DESIGN	21
I.2.3 COMPRENDRE LA RECHERCHE EN DESIGN	22
I.2.4 CLASSIFIER LA RECHERCHE EN DESIGN	24
II. POINTS DE DEPART HISTORIQUES	27
II.1 PREAMBULE	27
II.2 DEVELOPPEMENT OU EXPLOITATION D'OUTILS TECHNOLOGIQUES	30
II.2.1 SYNTHESE SONORE – MODALYS	30
II.2.2 DIFFUSION SONORE – TIMEE	31
II.3 PRODUCTIONS D'ETUDES ET D'ŒUVRES	33
II.3.1 PREMIERES ETUDES EN DESIGN SONORE	33
<i>Instrumentation de TULIP</i>	33
<i>Etude du gaillonnement</i>	34
<i>Conception de clignotants innovants</i>	35
II.3.2 PREMIERES ŒUVRES EN DESIGN SONORE	36

III. METHODOLOGIE ET RECHERCHE EN DESIGN SONORE	37
III.1 PRESENTATION	37
III.2 TRAVAUX DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT	38
III.2.1 TRAVAUX ACADEMIQUES	39
III.2.1.a Perception et description de l'environnement sonore	39
<i>Description d'une scène sonore idéale/non idéale</i>	39
<i>Perception de la gêne d'une scène sonore urbaine</i>	40
<i>Perception de l'intensité d'une scène sonore complexe</i>	41
III.2.1.b Perception et description des objets sonores	43
<i>Perception des sons environnementaux : méta-analyse</i>	43
<i>Perception d'un objet sonore dans son environnement : émergence et détectabilité</i>	44
III.2.1.c Conception informée d'interfaces numériques	45
<i>Conception d'alarmes sonores innovantes</i>	45
<i>Conception d'interfaces perceptives pour la synthèse sonore</i>	47
III.2.2 PROJETS INDUSTRIELS	49
III.2.2.a Design d'interfaces homme-machine sonores	49
III.2.2.b Signature sonore d'objets industriels	51
<i>Design sonore pour l'horlogerie</i>	51
<i>Design sonore pour l'automobile</i>	52
III.2.3 ACTIONS PEDAGOGIQUES	56
III.2.3.a Formation professionnelle en design sonore	56
III.2.3.b Cursus Design Sonore ESBAM	56
<i>Réalisation d'une œuvre de design sonore à la Maison d'Île-de-France</i>	57
IV. EXTENSION DU DOMAINE DU DESIGN SONORE	59
IV.1 SCIENCES DU DESIGN SONORE	59
IV.1.1 ETUDE DES « PERSONNES » : STATUT DU DESIGNER SONORE	61
IV.1.1.a Statut du designer sonore : retour d'expérience	61
IV.1.1.b Analyse des besoins	61
IV.1.1.c Eléments de référentiel	63
IV.1.1.d Analyse des pratiques	64
IV.1.2 ETUDE DES « PROCEDES » : STATUT DU DESIGN SONORE	65
IV.1.2.a Statut du design sonore : retour d'expérience	66
IV.1.2.b Processus de communication et d'expression sur le son	66
<i>Communiquer sur le son avec les mots</i>	66
<i>Communiquer sur le son avec la voix (et le geste)</i>	69
IV.1.2.c Approches de co-design	70
<i>Co-design d'identité (de marque)</i>	70
<i>Co-design de terroir (viticole)</i>	71
<i>Co-design de culture (sonore)</i>	72
IV.1.2.d Statut du prototype en design sonore	73
<i>Préfiguration du design sonore</i>	73
<i>Expérimentation du design sonore interactif</i>	74
<i>Fabrication d'une esquisse sonore</i>	74
IV.1.2.e Créativité et fixation	75
IV.1.3 ETUDE DES « PRODUITS » : STATUT DES SONS 'DESIGNES'	77
IV.1.3.a Statut des sons 'designés' : retour d'expérience	78
IV.1.3.b Que signifie composer pour le design sonore ?	79
IV.1.3.c Répertoire du design sonore	81
CONCLUSION	83
BIBLIOGRAPHIE	85

Remerciements

La formulation des remerciements reste un exercice relativement délicat, bien que naturellement indispensable pour témoigner de la réalité des partages, des échanges et des conseils sans lesquels un projet comme celui-ci, n'aurait certainement pas émergé et évolué de cette manière. Exercice délicat, néanmoins, dans la mesure où il est difficile de n'oublier personne, surtout dans la précipitation d'une fin de rédaction – où l'émotion d'une annonce de délibération ...

Donc, en espérant sincèrement ne faire aucune impasse – et, du coup, en ne nommant personne pour n'offenser personne –, je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde reconnaissance :

- aux membres du jury qui ont bien voulu accepter de rapporter ou examiner mon mémoire et qui (si tout va bien) prendront encore un peu de leur temps pour m'écouter en soutenance ;
- aux directions scientifiques de l'Ircam (UMR/IMR) qui ont soutenu mon projet en manifestant de l'intérêt et de la curiosité à son égard ;
- à l'Ircam en tant qu'Institut qui m'accueille dans ses murs depuis plus de vingt ans en me permettant de conjuguer métier et passion, et qui m'a, en partie, permis de devenir ce que je suis ;
- à l'Ircam, en tant qu'Individus, c'est-à-dire une multitude de personnes que j'ai rencontrées, côtoyées, ou juste croisées, et qui nourrissent ma connaissance des arts, des sciences, ou tout simplement des êtres humains ;
- aux équipiers de PDS (passés ou présents), pour leurs expertises, leurs motivations mais aussi leur solidarité et leur amitié ;
- aux compositeurs/créateurs, que j'ai eu (et que j'ai encore) la chance de croiser dans divers projets, dont j'ai beaucoup appris et dont j'ai encore beaucoup à apprendre ;
- et, *last but not least*, à mes parents, ma famille et mes amis qui représentent, avant tout, le moteur et l'énergie de cette entreprise personnelle.

Résumé

L'objet central du projet, soutenu à l'occasion de cette *Habilitation à Diriger des Recherches*, porte sur le design sonore, discipline en constante émergence, possédant de multiples définitions, de multiples domaines d'application, et se situant à la croisée des chemins de la création artistique et de la recherche scientifique et technologique. Nous nous appuyons sur le postulat que le design sonore fait partie intégrante du design – que faire du design sonore, c'est faire du design avec le son – et que, par extension, le design sonore peut être considéré comme un objet d'étude en soi, une discipline à part entière, que l'on peut observer, analyser, formaliser, autrement dit, sur lequel il est possible d'acquérir de la connaissance intrinsèque, qu'elle soit théorique ou pratique. Partant de là, parmi les différents mouvements et méthodes de recherche qu'à connu l'histoire du design, nous nous référons notamment à la définition, par Nigel Cross, de « lieux de recherche » en design pour proposer un cadre conceptuel de sciences du design sonore qui examinerait cette discipline sous trois angles distincts : les personnes (les designers sonores), les procédés (le design sonore) et les produits (les sons '*designés*'). Cette démarche, et ce projet, a ainsi pour perspective de mieux comprendre et cerner le sujet de nos activités de recherche et de création, et le cas échéant, de fédérer – ou rejoindre – une communauté de chercheurs, créateurs, concepteurs, ingénieurs, autour de questions relatives à la création sonore appliquée, c'est-à-dire au design sonore.

Mots-clés : design sonore, sciences du design, recherche, création, application.

The central topic of the project, supported upon this *Habilitation à Diriger des Recherches*, is focused on sound design, a constant coming up discipline, which presents multiple definitions, multiple application domains, and which is situated at a crossroads of artistic creation, and scientific and technological research. We rely on the assumption that sound design is an integral part of design – that doing sound design is doing design with sound. By extension, we also assume that sound design can be considered as an object of study in itself, a discipline in its own right, which one can observe, analyse, formalize, in other words, that it could be possible to acquire intrinsic knowledge on sound design, be it theoretical or practical. This being, among the different research movements and methods that design deployed over its history, we especially refer to Nigel Cross' definition about « research loci » of design, in order to suggest a conceptual framework for the sciences of sound design that would address the discipline from three distinct angles: persons (sound designers), process (sound design) and products (designed sounds). This approach, and this project, thus aims at better understanding and surrounding the matter of our research and creation activities, and if need be, at bringing together – or meeting – a community of researchers, creators, designers, engineers around questions related to applied sound creation, that is to say sound design.

Keywords: sound design, sciences of design, research, creation, application

Synopsis

Analyse **WWWWWH** – Le synopsis prend la forme d'une méthodologie d'analyse couramment utilisée en design pour aborder un nouveau projet [van Boeijen et al., 2014]. Elle permet de définir une problématique de manière structurée et complète en posant les questions importantes qui lui sont associées ; elle est également utilisée lors des phases de présentation et de compte-rendu. La problématique abordée est ici la suivante : replacer le design sonore dans le champ des sciences du design.

WHO : qui porte cette problématique ?

Cette problématique s'inscrit dans les nouvelles orientations de recherche de l'équipe Perception et Design Sonores de l'Unité Mixte de Recherche « Sciences et Technologies de la Musique et du Son » (STMS Ircam-CNRS-UPMC), intégrée dans l'Institut de Recherche et de Coordination Acoustique/Musique (Ircam). Elle est notamment portée par le responsable-adjoint de l'équipe, Nicolas Misdariis, mais est issue de réflexions collectives élaborées à l'occasion de la campagne d'évaluation HCERES 2017-18 (projet 19-23).

WHAT : quel est le sujet étudié ?

Le sujet d'étude concerne le design sonore en tant qu'objet de recherche et non plus simplement en tant que domaine d'application adossé à des recherches en perception sonore ou « champ d'expérimentation permettant d'approfondir nos connaissances en perception sonore » [Susini, 2011]. Autrement dit, il s'agit de considérer le design sonore en tant que discipline scientifique, objet d'étude cohérent et culture spécifique, à mi-chemin entre arts/humanités et sciences, par analogie avec le concept de « *third culture* » développé par Bruce Archer [Archer, 1979] à propos du design – et transposé ici au design sonore.

WHERE : où ce projet se met-il en œuvre ?

Le projet sera mené au sein de l'équipe Perception et Design Sonores grâce à l'apport en connaissances de ses chercheurs. A partir de là, elle pourra se déployer suivant plusieurs cercles concentriques : en interne à l'Ircam, avec l'équipe APM (Analyse des Pratiques Musicales), en premier lieu sur les questions d'analyse des pratiques du design sonore ; au niveau national, avec des acteurs du design (ENSCL, UTC, Ecole Centrale Nantes, ...) et des sciences du design (notamment S. Vial, A. Findeli – Univ. de Nîmes) ainsi que des labos en sciences des arts (Institut ACTE – Panthéon-Sorbonne, LESA associé au labo PRISM – Univ. Aix-Marseille) ; au niveau international, avec des institutions de référence telles que, l'Univ. de Delft (Elif Ozcan), l'Univ. de Cambridge (Nathan Crilly) ou le Royal College of Arts (Cecilia Wee, Will Renel).

WHEN : quand ce projet se met-il en œuvre ?

Le projet s'inscrit dans la lignée historique de la présence du design sonore à l'Ircam, depuis son intégration en 1999, par Louis Dandrel, puis son rapprochement avec les problématiques de perception et cognition musicales et sonores en 2005, par Patrick Susini. Le projet se mettra en œuvre progressivement lors du prochain plan quinquennal de recherche de l'UMR (2019 - 2023). Dans les faits, il a déjà été amorcé par des travaux de recherche et développement qui ont alimenté la réflexion sur le sujet ; certains d'entre eux seront poursuivis, et de nouveaux chantiers seront ouverts, dès 2018.

Why : pourquoi étudie-t-on ce sujet ?

Le projet est mené pour comprendre et fédérer le domaine du design sonore, discipline polymorphe régie par des définitions multiples, voire manquantes. Il vise également à comprendre et clarifier la distinction qui s'opère, le cas échéant, entre la création musicale (composition) et la création sonore (conception). Par extension, il s'intéresse à la notion de créativité ainsi qu'aux mécanismes et aux outils – méthodologiques ou technologiques – qui favorisent sa mise en œuvre et son déploiement. Enfin, plus généralement, il cherche à explorer l'existence d'une « *designerly way of knowing, thinking and acting* » [Cross, 2001] également dans le domaine du design sonore.

How : comment étudie-t-on ce sujet ?

Le projet vise à s'insérer dans le courant de la recherche en design et des sciences du design apparu depuis une cinquantaine d'années au niveau international (issu du mouvement des *Design Methods*) et seulement deux décennies en France (avec notamment les *Ateliers de la Recherche en Design*, d'Alain Findeli et coll.). L'étude sera menée en transposant les paradigmes originaux établis dans le domaine du design, notamment celui de Nigel Cross [Cross, 2006] – associé à celui de B. Archer [Archer, 1979] – afin de poser un cadre conceptuel – et épistémologique – du savoir en design sonore qui s'articulerait autour de 3 axes : les personnes (« *people* »), les procédés (« *process* ») et les produits (« *products* »).

Introduction

Ce **mémoire** s'inscrit dans le cadre de la présentation d'une **HDR** – Habilitation à Diriger des Recherches – effectuée auprès de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC) et de son Ecole Doctorale « Sciences pour l'ingénieur » (ED 071). Il fait suite à une demande d'inscription examinée et validée par le Conseil Scientifique de l'UTC le 15 déc. 2017, sur la base, notamment, d'une présentation synthétique des travaux scientifiques et technologiques préfigurant la structure et le contenu du mémoire définitif. Le présent mémoire reprend donc cette synthèse en développant certaines de ses parties, en complétant l'état de l'art au moyen de nouvelles ressources bibliographiques et documentaires, en détaillant les travaux déjà effectués dans la thématique (bilan) et en décrivant de manière plus complète les études en cours de montage ou de réflexion, et plus généralement les axes de recherche prospectifs élaborés dans le cadre du projet.

Ainsi, après une section décrivant le **cadre général de la démarche (sect. I)**, à savoir l'intégration du design sonore dans le champ des sciences du design, nous présentons les travaux qui appuient cette démarche, à la fois en termes de **bilan (sect. II, III)** et de **projet (sect. IV)**, avant de terminer par une conclusion générale. Le bilan expose successivement les **éléments historiques de réflexion (sect. II)**, en termes d'outils technologiques et de résultats préliminaires, ainsi que les premières **approches de méthodologie et recherche en design sonore (sect. III)**, déployées parallèlement dans les champs académiques, industriels et pédagogiques. Le projet propose, quant à lui, une extension du cadre conceptuel du design sonore vers les **sciences du design sonore (sect. IV)** en s'inspirant d'une démarche formelle en sciences du design et en s'intéressant notamment à trois composantes fondamentales : les acteurs et auteurs de la discipline, les procédés (méthodes, outils) utilisés pour sa mise en oeuvre, et les résultats (œuvres) qu'elle produit, *in fine*.

I. Cadre général

Le sujet concerne le **design sonore**, champ du design relativement récent qui consiste principalement à prendre en compte la dimension sonore d'un objet au cours de son processus de conception – le terme *objet* pouvant être pris au sens large d'objet *tangible* (produit manufacturé), d'objet *numérique* (interface homme-machine) ou d'objet *spatial* (environnement). Le design sonore relève donc de la création sonore appliquée à des domaines où penser le son, l'imaginer, le fabriquer et l'intégrer s'avère nécessaire d'un point de vue fonctionnel et/ou esthétique, comme notamment : l'industrie, l'architecture, l'urbanisme, le cinéma, les arts numériques, voire la communication et le marketing lorsqu'il s'agit d'associer un son à une identité de marque ou de produit.

Le projet vise à replacer le design sonore tel que nous l'envisageons aujourd'hui, dans un cadre conceptuel plus large : celui de la recherche en design ou des sciences du design [Vial et Findeli, 2015]. De fait, il s'intéresse au design sonore en tant qu'objet de recherche et non plus simplement en tant que domaine d'application adossé à des recherches en perception sonore [Susini et al., 2014] ou « champ d'expérimentation permettant d'approfondir nos connaissances en perception sonore, [...] et d'adapter des méthodes expérimentales pour un domaine d'application » [Susini, 2011]. En transposant les principes fondateurs de Bruce Archer (« *design as a "third culture"* » ou « *Design with a capital D* ») [Archer, 1979 ; Cross, 1982], l'objectif est ici de considérer le design sonore comme une discipline à part entière, un objet d'étude cohérent et une culture spécifique, à mi-chemin entre arts/humanités et sciences, ou bien encore au croisement des Sciences Humaines et Sociales (SHS) et des Sciences pour l'Ingénieur (SPI) ou des Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI) [Petit et Deldicque, 2017 ; Petit, 2017].

I.1 Design sonore : tentative de définition(s)

Le champ du design sonore est vaste et ses définitions sont multiples. Nous tenterons dans cette section d'en proposer les traits de caractère principaux qui permettent, en première approche, d'en circonscrire le périmètre. Nous passerons ensuite en revue des éléments de définitions explicites (publics et publiés) et implicites, issus de la littérature ou de l'activité scientifique. Nous poursuivrons par un rapprochement - une conjugaison - thématique avec la *discipline-mère*, le design, pour finir par en donner une vision critique, depuis une position où le design sonore s'avère être une "non-discipline".

I.1.1 Caractérisation

Dans mon manuscrit de thèse qui rassemble des travaux et connaissances scientifiques dans les domaines de la synthèse, la reproduction et la perception des sons (instrumentaux, environnementaux) et qui s'ouvre sur le design sonore, en tant que champ de recherche et d'application, je conclus le paragraphe de présentation de cette discipline en caractérisant sa pratique de **création** interdisciplinaire, contrainte, objectivement informée et ciblée [Misdariis, 2014 - p.193] :

- **interdisciplinaire** car, comme le formalisent Elif Ozcan et René Van Egmond, trois disciplines fondamentales alimentent le design sonore : l'acoustique, l'ingénierie et la psychologie - notamment lorsque l'étude porte sur un produit manufacturé (*objet tangible*) [Ozcan et van Egmond, 2009]. L'acoustique fournit des techniques pour analyser ou modéliser/synthétiser les sons, et le cas échéant, pour comprendre les phénomènes de production du son à la source (interactions physiques, vibrations, etc.) ou bien encore de propagation (rayonnement, diffraction/diffusion/absorption). L'ingénierie possède les connaissances appliquées sur le produit d'étude dans des domaines comme la mécanique, l'électronique, l'informatique (lorsque l'étude porte sur un *objet numérique*) et fournit des solutions opérationnelles à la fois en termes de prototypage et de maquettage que d'industrialisation et de production en série. La psychologie étudie les implications psychologiques liées à la stimulation sonore tant sur le plan perceptif (paramètres psychoacoustiques, extraction de l'information de source, matière, forme, interaction, etc.) que cognitif (sémantique, hédonique, émotionnel) et permet de prévoir, dans une certaine mesure, des réactions sensorielles telles que l'agrément/désagrément, la nuisance ou la gêne [Langeveld et al., 2013].

On retrouve cette interdisciplinarité, en des termes comparables, dans l'analyse que proposent d'autres auteurs sur la discipline. Parmi eux, Andy Farnell qui fonde le design sonore sur trois « piliers » : premièrement, la physique pour tout ce qui touche à la mécanique / mécanique vibratoire, aux matériaux, à la théorie des oscillations et, par conséquent, à l'acoustique ; deuxièmement, la mathématique pour tout ce qui touche au traitement numérique du signal audio (conversion, représentation, génération) ; troisièmement, la psychologie, pour tout ce qui touche aux données physiologiques (systèmes auditifs périphérique et central), aux percepts de bas-niveau (hauteur, intensité, durée, timbre) ainsi qu'à tous les processus cognitifs liés à l'audition (reconnaissance, classification, analyse, attention, mémoire, modes d'écoute et de verbalisation des sons, etc.) [Farnell, 2010]. A sa manière, et avec l'approche visionnaire qui le caractérise, Robert Murray Schafer décrit aussi cet aspect dans son ouvrage de référence, *The tuning of the world*, en prédisant que « le véritable designer sonore doit tout comprendre de l'environnement auquel il s'attaque ; il lui faut des connaissances en acoustique, en psychologie, en sociologie, en musique, et en bien d'autres matières encore suivant les cas » [Schafer, 2010 - p.295]. Tout concourt donc à placer le design sonore au centre d'une sphère reliant différents domaines d'expertise (sciences physiques, informatique, sciences humaines, ingénierie, technique, sciences de la communication, etc.) qui interagissent entre eux pour développer et mettre en oeuvre les idées.

- **contrainte**, car le travail de design sonore s'exprime le plus souvent en fonction d'un cahier des charges fonctionnel, ergonomique, technique ou esthétique et que, comme l'écrit Stéphane Vial de manière plus général à propos du design « d'un point de vue poétique, le processus de création artistique diffère fondamentalement du processus de création du design : faire de l'art et faire du design sont deux choses bien distinctes ». L'élément fondamental qu'est le cahier des charges contribue donc à délimiter la frontière entre une démarche relevant du design sonore qui vise à répondre à un problème ou un besoin et une démarche purement artistique - dénuée de toute contrainte apparente - s'insérant dans le champ plus vaste de l'art sonore, même si cette frontière peut parfois sembler floue et qu'il arrive que « le design s'apparente à une forme d'art contemporain » faisant que « du point de vue esthétique, [...] la réception des objets de design est comparable à celle des œuvres d'art » (nous reviendrons sur cette ouverture à l'art sonore au § II.1). En outre, et toujours sur la base de l'analyse de Vial [Vial et Jouin, 2010 - pp.67-73], ce cahier des charges incarne également le fait que le designer (sonore) « ne jouit pas d'une liberté sans

bornes », qu'il est « soumis au principe de réalité » et qu'il « ne travaille pas seulement à partir de son désir propre [...], mais à partir du désir de l'autre. En corollaire, cette propriété soulève donc des questions sur le rapport à la créativité qui participe aussi à la réflexion globale sur le design sonore : la contrainte est-elle stimulante pour la création – comme le suggèrent certaines recherches en psychologie de la créativité [Lubart et al. 2015] –, ou bien au contraire, est-elle inhibante et facteur de fixation ? (nous reviendrons sur cette notion et, plus globalement, sur cette question au § IV.1.2.e).

• **objectivement informée**, car ce cahier des charges peut en partie être constitué de résultats théoriques ou expérimentaux issus de connaissances scientifiques ou d'expériences menées de manière *ad hoc* dans le domaine de la perception sonore et aboutissant, par exemple, à la définition de paramètres physiques du son (hauteur, rythme, timbre) à respecter en fonction des contraintes données. Cette démarche s'illustre parfaitement dans l'étude en qualité et design sonore des sons d'avertisseurs automobiles (klaxons) de Guillaume Lemaitre [Lemaitre et al., 2007 ; 2009a]. L'objectif de cette étude est de fournir des clés pour concevoir des sonorités innovantes de klaxon en étudiant les relations entre la perception de la nature de ces sons – notamment leur caractéristique d'alarme – et leurs propriétés acoustiques sous-jacentes. Pour cela, la famille des sons de klaxon est d'abord appréhendée d'un point de vue psychoacoustique en modélisant un espace des timbres faisant le lien entre des dimensions perceptives et des corrélats acoustiques (rugosité, brillance, et déviation spectrale) [Lemaitre et al., 2007]. La partie conception est ensuite basée sur trois postulats perceptifs ou cognitifs :

- un klaxon doit être audible, *i.e.* émergé du bruit de fond contextuel, impliquant une certaine structure spectrale du signal (forte énergie répartie sur une large distribution spectrale) ;
- un klaxon doit être rapidement associé à l'information de danger et reconnu comme tel, impliquant une morphologie temporelle relativement proche de l'existant (attaque franche, notamment) ;
- un klaxon doit être un signal spécifique, *i.e.* non confondu avec un autre signal de l'environnement, impliquant la modélisation acoustique fine (hauteur, paramètres de timbre) de sons prototypes représentant les différentes familles.

L'ensemble de ces résultats conduisent finalement à proposer un paradigme de synthèse sonore capable de générer des sons respectant à la fois ces conditions de reconnaissance du son de klaxon et les exigences de sonorités nouvelles initialement visées par l'étude [Lemaitre et al., 2009a].

• **ciblée**, car l'objectif final du design sonore est de produire la meilleure œuvre – en l'occurrence, le meilleur son –, au regard des contraintes fonctionnelles et/ou esthétiques préalablement établies. Cette caractéristique participe aussi à la distinction entre art et design car, en transposant à nouveau les idées de Vial, *a contrario* de l'artiste qui « n'a aucune explication à fournir pour justifier ses choix de formes, de couleurs ou de matières », le designer (sonore) « ne conçoit pas des "œuvres" mais conçoit plutôt des "projets" » et est *in fine* « soumis au verdict des usagers » ce qui l'oblige à « justifier sa démarche », « expliquer la légitimité de son travail » et « donner des raisons afin que ses choix puissent être objectivement reconnus comme [...] ayant un sens pour les autres » [Vial et Jouin, 2010 - pp.67-73]. Cette nécessité de justification et de légitimation implique que le processus de design (sonore) mette en œuvre, d'une manière ou d'une autre, une composante méthodologique d'évaluation des idées permettant de valider les solutions proposées ou d'en déterminer des voies d'amélioration et de convergence vers les besoins exprimés. On retrouve cette phase expérimentale – incarnée notamment par le 'test utilisateur' en matière d'ergonomie – dans de nombreuses méthodes et modèles de conception en design [van Boeijen et al., 2014], ainsi que dans la méthodologie que nous avons originellement formalisée pour le design sonore (sur laquelle nous reviendrons au § III.1) et que nous avons appliquée dans de nombreux cas d'étude (§ III.2.2.a & b). Par ailleurs, cette nécessité de justification est d'autant plus cruciale pour le design sonore dans la mesure où la matière travaillée – et présentée – est, par nature, plus immatérielle et intangible qu'un dessin, une photo ou une maquette et doit donc être davantage argumentée et défendue lors de phases de discussion ou de décision. Cette idée, portée notamment par Louis Dandrel, pose indirectement la question de l'esquisse sonore sur laquelle nous reviendrons ultérieurement (§ IV.1.2.d).

1.1.2 Définitions explicites

Cela étant, malgré cette tentative de définition, le design sonore demeure, encore de nos jours, une discipline foncièrement polymorphe et polysémique qui ne se range pas sous une définition unique et consensuelle. Une première recherche par mots-clés dans Google – "*design(er) sonore*" ou "*sound design(er)*" – nous permet d'extraire des éléments qui explicitent cette diversité en affichant à la fois certaines constantes de description (le caractère artistique et technique, la pluridisciplinarité, etc.) mais aussi de relatives distorsions de point de vue. On retrouve, par ailleurs partiellement, des qualificatifs proposés au début de cette section :

@ **wikipedia** ^{1, 2} (à noter que les deux articles référencés ont le statut d'*ébauche*) :

« le design sonore, ou la conception sonore, est l'art d'utiliser des éléments sonores afin d'obtenir un effet désiré. Il est employé dans une variété de disciplines comme le cinéma, le théâtre, [...], le développement de jeux vidéo ou la publicité » ;

« le designer sonore n'est pas un métier identifié. Cette dénomination [...] répond à des définitions de métiers différentes suivant le domaine d'application auquel il fait référence. Il peut intervenir sur des objets multimédia (...) comme il peut travailler sur les sons produits par notre environnement (...). Son champ d'action peut englober les fonctions [...] de compositeur de musique, acousticien, monteur son, bruiteur, illustrateur sonore ».

@ **Onisep** ³ (Office National d'Information Sur les Enseignements et les Professions) :

« Il y a autant de réalités professionnelles pour le designer sonore que de secteurs dans lesquels il peut exercer ses talents. Mais, avec toujours un même objectif : donner du sens au son » ;

« [il] est à cheval entre la création et la technique. Il doit [...] donner libre cours à sa créativité sans toutefois perdre de vue le cahier des charges imposé et les délais de réalisation » ;

« [il] travaille en équipe ».

@ **RNCP** ⁴ (Répertoire National des Certifications Professionnelles) :

« le designer sonore est un spécialiste de la conception et de la production sonore » ;

« il est capable de renforcer le côté émotionnel par les sons [...]. Il doit s'adapter à une commande précise, ciblée » ;

« les commandes peuvent être liées à différents types de supports, [...] une vidéo, un film, un reportage/documentaire, le cinéma d'animation [...], les jeux vidéos, la publicité, une œuvre artistique, des applications numériques » ;

« il doit mettre ses compétences tant artistiques que techniques à l'épreuve [...] et travailler en collaboration inter-services ».

@ **CIDJ** ⁵ (Centre d'Information et de Documentation Jeunesse) :

« le sound designer est responsable de l'habillage sonore. Il réalise les bruitages, la musique, les doublages et les voix enregistrées pour rendre un jeu vidéo, un film le plus vivant possible et retranscrire l'ambiance voulue par le game designer ou le réalisateur » ;

« Ce métier [...] demande à la fois de l'imagination artistique et de la rigueur technique. [...] Un sound designer cultivera plutôt l'aspect artistique ou l'aspect technique, mais dans tous les cas il doit savoir conjuguer ces deux compétences. ».

@ **Portail-des-métiers-de-l'Internet** ⁶ :

« le designer sonore a pour mission de définir l'identité sonore qui convient le mieux à un produit : jeu vidéo, logiciel, site Internet, spot publicitaire, jingle, espace commercial, espace de vente [...]. Récent et encore peu répandu, le métier de designer sonore pour le Web consiste à trouver le meilleur accompagnement sonore diffusé durant la consultation d'un site web, d'une application ou d'un objet multimedia. Le designer sonore occupe un poste clé qui permet de mettre en valeur un contenu visuel, il intervient en phase de production, il travaille souvent en équipe et entre en interaction avec de nombreux acteurs : directeur artistique, directeur technique, compositeur, ingénieur du son, webdesigner, développeur, infographiste. [Le designer sonore] dispose d'une approche transversale de la création multimedia, des arts visuels, des arts vivants et du design ».

I.1.3 Définitions implicites

Toutes ces descriptions ou définitions croisent, dans une certaine mesure, des propositions plus scientifiques ou académiques qui caractérisent et définissent implicitement le design sonore. Elles émanent, pour la plupart, des principaux épiscopats de recherche et de réflexion sur la thématique – chercheurs, institutions, projets, etc. – et permettent par la même occasion d'ébaucher un panorama des points d'activité et de leurs éventuelles connexions.

Au sein d'une action de recherche européenne (COST Action) centrée sur le design sonore d'interaction (SID, *Sonic Interaction Design* ⁷), Davide Rocchesso présente le design sonore – et plus

¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Design_sonore

² https://fr.wikipedia.org/wiki/Designer_sonore

³ <http://geolocalisation.onisep.fr/designer-sonore/metier-100610.html>

⁴ <http://www.rncp.cncp.gouv.fr/grand-public/visualisationFiche?format=fr&fiche=23989>

⁵ <https://www.cidj.com/metiers/sound-designer>

⁶ http://www.metiers.internet.gouv.fr/get_pdf.php?id=973 (consulté en juin 2018)

⁷ http://www.cost.eu/COST_Actions/ict/IC0601

particulièrement sa composante interactive – comme l'utilisation du « rôle privilégié de la modalité auditive pour exploiter la convergence de la communication informatique et des nouvelles technologies ». Il s'agit, pour Rocchesso et coll., d'un mouvement qui consiste à penser le son comme l'une des principales dimensions sur lesquelles nos futurs environnements de vie devraient être conçus en améliorant leur apparence sonore (« *acoustic appearance* ») et la promotion d'une culture qui considère, a priori, le son comme source d'informations (« *sound-as-information attitude* ») et non comme simple source de bruit [Rocchesso et al., 2008]. A ce titre, il est intéressant de rapprocher l'idée de culture positive du son/bruit avec les problématiques d'acoustique écologique qui distingue théoriquement deux manières de considérer le son dans un environnement sonore : soit *via* un « paradigme normatif », une « approche négativiste », en tentant de quantifier, normer et juguler le phénomène sonore ; soit *via* un « paradigme interprétatif », une « approche plus sensible », en tentant d'en comprendre ses mécanismes perceptifs et d'interprétation [Chételat, 2009]. Point de vue qui converge, par ailleurs, également avec la déclaration de principe du projet *Soundscape of European Cities and Landscapes*⁸ qui préconise de considérer le son (environnemental) comme une ressource plutôt qu'un rebut (« *a 'resource' rather than a 'waste'* ») [Schulte-Fortkamp, 2013].

Dans le cadre de son Master à l'école de Design de l'Université de Carnegie Mellon, Paul Robare produit deux thèses qui s'intéressent respectivement à la question du son dans le design de produit [Robare, 2009a] et à la capacité de faire du design avec le son [Robare, 2009b]. Ce travail de recherche l'amène donc à s'interroger sur l'utilisation du son dans le design qu'il définit fondamentalement comme un élément de l'expérience produit (« *an element of product experience* ») qu'il oppose à des pratiques plus conventionnelles – et plus anciennes aussi – qui considèrent le son comme un simple vecteur d'informations (sonification, interfaces sonores, etc.) et qu'il explicite par des questions du type : comment le son influence-t-il positivement une *gestalt* d'interaction ou d'expérience (avec un produit) ? Ou bien encore : comment faire du design avec du son dans une perspective holistique ? En réponse à ces questions, il propose de prendre en compte le rôle du son suivant trois dimensions principales :

1. L'utilité (« *usefulness* »), en rapport avec une fonctionnalité identifiée et relative à une expérience facile ;
2. L'utilisabilité (« *usability* »), relative à une expérience efficace ;
3. La désirabilité (« *desirability* » ou « *desirableness* »), relative à une expérience agréable.

Finalement, il pose les postulats suivants : le son doit être pris en compte dès la phase de conception, il contribue pleinement à l'expérience utilisateur (UX – *User eXperience*), et à ce titre, il doit être considéré à part égale avec les autres modalités sensorielles, et notamment la vision, dans la définition de l'espace des solutions de design. Le second volet de son travail, est ensuite consacré à la description d'un modèle de conception favorisant l'intégration du son dans une problématique de design interactif [Robare, 2009b].

Dans son travail de recherche sur la convergence entre synthèse sonore et intelligence artificielle (IA), Eduardo Miranda projette un environnement de design sonore intelligent (« *ISSD – Intelligent System for Sound Design* ») permettant la conception de sons à partir d'un vocabulaire de descripteurs sonores et leur exploration grâce à une intelligence algorithmique [Miranda, 1995]. Le terme 'design sonore' est ici directement rattaché à la pratique de la synthèse sonore informatique et clairement orienté vers la composition musicale, mais les concepts et définitions issus de ce travail peuvent être néanmoins intéressants à répertorier. De fait, Miranda formalise le design sonore – et plus largement le design – comme une pratique nécessitant une organisation, application et production explicites de connaissances. Il affirme, également, qu'il s'agit d'une instance complexe de comportement intelligent (« *a very complex kind of intelligent behavior* ») qui engage des processus physiques et cognitifs pour notamment établir la pertinence et l'efficacité des créations – et qu'il se propose donc de simuler à l'aide de l'ordinateur. Enfin, il reconnaît que les problèmes de design – et par extension, ceux de design sonore – sont définis au moyen de spécifications que l'artefact de design (le produit de la conception) doit respecter au mieux.

Dans la partie introductive de sa thèse de doctorat sur les méthodes pour le design sonore de produit [Nykänen, 2008], Arne Nykänen replace le design sonore dans le trièdre : caractère sonore (« *sound character* ») / qualité sonore (« *sound quality* ») / design sonore (« *sound design* »), selon l'approche conceptuelle notamment formalisée par Jens Blauert, en Allemagne [Blauert, 2005]. Dans cette perspective théorique, le caractère d'un son représente ses propriétés intrinsèques, objectives et indépendantes du contexte. La qualité sonore est définie – par Blauert et Jekosh eux-mêmes [Blauert et Jekosch, 1997] – comme l'adéquation d'un son au produit (support) auquel il est associé et est donc dépendante du jugement de l'utilisateur, notamment de ses attentes cognitives ou émotionnelles, ainsi que le cas échéant, du contexte d'utilisation. Quant au design sonore, il relève principalement de l'ingénierie sonore (« *engineering of sound* ») et des liens communicationnels que l'utilisateur entretient avec le produit

⁸ <http://soundscape-cost.org/index.php/>

durant son utilisation. Au sein de ce système de description, la mesure précise du caractère sonore (p. ex., sonie, brillance ou rugosité) peut être une donnée d'entrée importante pour la qualité ou le design sonore. Par ailleurs, dans cet exercice de définition, Nykänen relève également le fait que, même correctement défini, le processus de design comporte rarement une solution unique et pointe la nécessité d'outils de présentation et de maquettage pour accompagner les processus de sélection et de décision (point sur lequel nous reviendrons dans la suite du document).

Depuis de nombreuses années, Elif Ozcan et René van Egmond ont été amenés à conduire, ou encadrer, des réflexions et des études en design sonore, au sein de la Faculté de Design Industriel de l'Université Technologique de Delft [Ozcan, 2008 ; Ozcan et van Egmond, 2006 ; 2009]. Leur intérêt s'est principalement porté sur le design sonore de produit (« *product sound design* ») dont la légitimité vient du fait que le son fait généralement partie intégrante du produit. Cela étant, ils affirment que le design sonore reste, encore de nos jours, un concept relativement nouveau manquant d'une ingénierie de méthodes et d'outils de création ou de communication sur le son. Au cours de leurs recherches, ils ont contribué à formaliser le design sonore de produit comme une « approche interdisciplinaire » – plutôt que « multi-disciplinaire » – impliquant trois domaines fondamentaux : l'acoustique (en tant que science relative à la source sonore : production, émission), l'ingénierie (en tant que discipline fournissant des solutions appliquées : mécanique, électrique/électronique, structure, etc.) : et la psychologie (en tant que science relative à la perception et la cognition sonores : interprétations sémantiques ou émotionnelles). Ces fondements disciplinaires sont complétés par deux domaines connexes : la psychoacoustique (relative aux réactions basiques à la stimulation sonore) et la musicologie (relative à la théorie et la composition musicales). Ainsi, pour Ozcan et van Egmond, le designer sonore (de produit) est avant tout un ingénieur capable de comprendre et mettre en œuvre – ou mobiliser – des ressources dans ces différents domaines, intervenant, de fait, comme un « médiateur » de connaissances et d'expertises. Par ailleurs, ils postulent que le design sonore (de produit) est principalement motivé par des aspects de confort et d'ergonomie d'usage, de fonctionnalité ou bien pour servir des valeurs hédoniques – dans le but d'améliorer l'expérience utilisateur. Enfin, ils affirment que le design sonore est un processus complexe qui s'inscrit dans le cycle global du design – où il peut d'ailleurs potentiellement causer des réactions en chaîne – et qui doit idéalement être pris en compte aux premières étapes de conception du produit. En référence à des méthodologies de design, ils proposent un processus en quatre étapes : l'analyse du problème (idéation), une phase conceptuelle suivie d'une phase matérielle – incarnée dans le produit – de design, pour finir par la réalisation d'un prototype fonctionnel présentant les détails de la solution, pouvant également être utilisé à des fins d'évaluation.

A l'occasion de ses récentes réflexions sur le programme de recherche et d'enseignement « arts et design sonore » rattaché à l'Institut ACTE⁹ (Arts – Créations – Théories – Esthétique) de l'Université Paris I (Panthéon – Sorbonne), Frank Pecquet affirme que le design sonore, « discipline parente du design », est un « genre relativement nouveau, [qui est] aujourd'hui sans fondement théorique tangible ». Cela dit, avec un point de vue original, il tente de replacer le design sonore par rapport à deux autres disciplines connexes, parfois confondues, et potentiellement recouvrables entre elles (voir aussi § II.1 et § IV.1.3.b). D'une part, il note un « glissement », une « mutation » du design sonore vers le design musical : le premier – relatif au fonctionnel – correspondant à « la formalisation technique de manifestations acoustiques répondant à différentes fonctions » et qualifiant « le son appliqué » ; le second – relatif à l'esthétique – s'intéressant davantage « à la fonction sonore sensible, à l'effet sensoriel, au ressenti au-delà de l'information et/ou de l'événement banal perçu » qualifiant « la musique appliquée » et relevant d'un processus « plus créatif que strictement fonctionnel ». D'autre part, il propose d'« élargir le champ de recherche spécifique des arts sonores au design sonore », posant ainsi la question primordiale de « la création esthétique au regard de la fonctionnalité de l'art » à laquelle il répond partiellement en affirmant que l'art sonore est la « manifestation sensible d'une idée » alors que le design sonore concrétise cette idée en « adaptant formellement sa représentation dans le projet de réalisation » [Pecquet, 2018].

Enfin, à l'issue d'une réflexion et de la mise en place d'un programme – et d'une équipe – de recherche en design sonore (sur lequel nous reviendrons dans la suite du document – § III), Patrick Susini propose des éléments de définition de cette discipline qu'il formalisera par la suite dans son mémoire d'HDR instruisant la relation entre design et perception sonores [Susini, 2011]. Ces éléments se traduisent par le fait que, d'une part, le but du design sonore est de « créer de nouveaux sons [...] avec la volonté qu'ils soient entendus dans un contexte d'usage donné », et d'autre part, que le design sonore se définit par une « démarche visant à penser la composante sonore dès la phase de définition d'un objet afin de faire entendre une **intention** ». La notion d'intention implique, en premier lieu, que l'on s'intéresse ici

⁹ <http://www.institut-acte.cnrs.fr>

principalement aux sons dits « intentionnels », créés *ex nihilo*, par opposition aux sons « non intentionnels », existants et le cas échéant modifiés (nous reviendrons sur cette terminologie au § IV.1.3.b). En outre, par analogie avec certains discours et principes de design (notamment, le fonctionnalisme – cf. § I.2), cette intentionnalité est par ailleurs déclinée suivant deux plans : la **forme**, relative à la qualité globale, la cohérence, la pertinence de l’artefact résultant d’un design sonore ; et la **fonction**, relative aux caractères informationnels, ergonomiques, voire émotionnels de ce même artefact. Pour résumer, le design sonore se définit ici comme un « processus de fabrication d’intentions sonores audibles (*the process of making intentions audible*) » [Susini et al., 2014] – cette définition faisant écho, en le renversant, au principe d’intention d’écoute formalisé par Pierre Schaeffer dans son *Traité des Objets Musicaux* [Schaeffer, 1966].

En marge de ces premiers repères, et même s’il ne s’agit pas d’une référence scientifique à proprement parlé, le livre de Tony Gibbs, intitulé « *The Fundamentals of Sonic Art and Sound Design* », a le mérite de poser une série de définitions et d’ouvrir des champs originaux autour de la création sonore [Gibbs, 2007]. Cet ouvrage explore d’un point de vue historique, pratique et illustratif les usages créatifs du son tels qu’ils ont émergé dans l’histoire de l’humanité – plus précisément, depuis le milieu du XX^{ème} siècle – et propose des éléments de définition et de statut du design sonore, principalement vis-à-vis de l’art sonore. Ainsi, dans un premier temps, il dresse un parallèle entre les relations qu’entretiennent le design sonore et l’art sonore avec celles qui existent entre le design et l’art, même s’il admet que celles-ci ne sont pas clairement définies. Il qualifie ensuite le design sonore comme une création de type extrinsèque (« *creation of sound for a purpose external to itself* »). Il relie enfin les premières réalisations en design sonore à la prise en compte de l’acoustique en architecture (datant déjà des civilisations grecque ou maya) et à la manière dont cette science peut permettre de contrôler à la fois comment et quoi écouter de notre environnement – ce qui, par extension, définit, selon lui, le rôle principal du designer sonore. Il conçoit enfin que le design sonore peut s’appliquer à bien d’autres domaines que le son à l’image (film, jeu vidéo, etc.) et cite notamment le marketing, l’identité ou l’ambiance sonore comme autres champs possibles de développement de la discipline. Par ailleurs, il mentionne deux champs d’application où le design sonore peut à la fois être considéré comme tel (« *in its own right* ») mais aussi être relié à une démarche relevant davantage de l’art sonore. Il s’agit, d’une part, de la radiophonie où le son règne naturellement en maître et où s’est développé un univers sonore à la fois fonctionnel (sonal, jingle, virgule, tapis sonore, etc.) et artistique (pièce radiophonique, *radio drama*, etc.) – on parle usuellement d’art radiophonique¹⁰. Et il s’agit, d’autre part, de la musique d’ambiance (« *ambient music* »), forme musicale destinée à être intégrée en toile de fond d’un environnement plutôt qu’à être écoutée en tant que telle [Delaune, 2009], et dont l’origine est attribuée (par Gibbs) à Brian Eno¹¹, musicien, producteur et occasionnellement *sound designer*. (Il s’avère, en fait, que bien avant Eno, la musique d’ambiance trouve plutôt ses origines dans l’entreprise Muzak – contraction de Musique et Kodak – fondée en 1934 par George Squier, et spécialisée initialement dans la conception et la diffusion de musique sur les lieux de travail – usines, bureaux puis ensuite magasins –, dans le but d’influer sur la qualité du travail, la productivité ou le taux d’absentéisme [Volcler et Stoichita, 2017], ou bien encore, selon Barry Truax, dans le but d’imposer un état d’esprit à un lieu et de contrôler les comportements des personnes qui y évoluent [Truax, 1984]).

I.1.4 Définition conjuguée

A la lumière de toutes les précédentes références, il apparaît donc clairement que design sonore et design entretiennent des liens de parenté indéniables et que, de fait, le design sonore peut admettre une certaine « indéfinition » – en paraphrasant les mots de Jean-Louis Fréchin (cité dans [Vial et Jouin, 2010]). C’est en substance la vision que porte Louis Dandrel sur la discipline qu’il a contribué à promouvoir (cf. § II.1) lorsqu’il dit : « le design sonore ne devrait pas se chercher de définition ailleurs que dans le design lui-même. Il devrait y avoir une **définition du design avec son** ; pourquoi vouloir retirer au design un de ses attributs sensoriels ? » ; puis lorsqu’il rajoute « le mot design sonore est devenu assez attractif et surtout permet de donner une identité à une profession qui n’en avait pas. [...] on a tous les profils que l’on veut : celui qui fait une compilation pour un magasin ou un restaurant est designer sonore. On entre alors dans l’immense confusion. ». Ce qui ne l’empêche pas, par ailleurs, d’esquisser la fonction du designer sonore qui doit « mettre en valeur l’environnement sonore de tous les jours, de manière claire et significative, en donnant aux objets qui nous entourent leur vraie voix [et composer] ainsi la musique du quotidien » [Rodriguez, 2003]. Ainsi, pour Dandrel, « donner la voix aux choses » représente l’un des

¹⁰ <http://syntone.fr>

¹¹ <https://www.universalis.fr/encyclopedie/brian-eno/>

principaux postulats de départ du design sonore et la relation son/objet, l'un des deux axes de recherche – avec son/architecture – qu'il a exploré et incarné dans de nombreux projets. En cela, il confirme également que la problématique du design sonore est comparable à celle du design de volume (« design 3D ») en impliquant à peu près les mêmes « ingrédients » : le matériau sonore, relié à un objet concret et à l'espace qui lui est associé mais aussi l'espace sonore, c'est-à-dire les effets du déplacement de cet objet dans son environnement [Dandrel, 2012].

En outre, la filiation entre design et design sonore permet également de se baser sur l'étymologie du mot *design* pour tenter de qualifier le *design sonore* et d'en proposer une définition personnelle. D'après Vial dans son traité de design [Vial et Jouin, 2010], les origines du « vocable » *design* sont autant latines qu'anglaises. Les racines latines proviennent de deux sources : le nom '*signum*' qui exprime le signe, la marque, l'empreinte, et le verbe '*designare*' qui exprime le fait de signaler, indiquer, « marquer d'un signe » – la notion de signe impliquant le caractère distinctif qui permet de faire la différence. Le verbe anglais '*to design*', issu du verbe latin sus-cité, prend quant à lui deux sens : dessiner, former des signes, tracer une figure, un dessin, ou bien concevoir, projeter en fonction d'un concept, d'une intention, d'un dessein. A la lumière de l'étymologie, l'acte de design apparaît donc comme composé entre la notion de **dessin**, le fait de marquer quelque chose d'un signe – ce que Vial relie au « signifiant » –, et la notion de **dessein**, le fait de concevoir, ou donner un sens à un projet s'incarnant dans ce signe – ce que Vial relie au « signifié » et qui renvoie au fait que le design est fondamentalement une « discipline du projet » (cette idée sera développée dans le paragraphe suivant). Et ce qui nous permet, par extension, d'envisager le design sonore comme une activité qui consiste à marquer un objet d'un signe / d'une signature sonore (*dessin*) qui incarne un projet / une intention (*dessein*) ; le terme *objet* étant ici pris au sens générique et pouvant être soit de nature tangible (produit manufacturé), numérique (interface homme-machine) ou spatiale (environnement).

Finalement, et pour conclure, ce rapprochement disciplinaire entre design et design sonore présente trois qualités intéressantes pour circonscrire et étayer le domaine :

- le fait que le design soit associé au domaine des arts appliqués¹² – par opposition aux Beaux-Arts (peinture, sculpture, ou musique, notamment) ; ce qui confère implicitement au design sonore le statut d'« art sonore appliqué » [Dandrel, 1996] et permet, par analogie, d'identifier et de formaliser ses principaux champs d'activité : produit, espace, service, image, design (sonore) interactif ou bien encore recherche en design (sonore) [cf. l'étude du Ministère de l'Industrie (2013), citée dans le rapport du Ministère de l'Education Nationale (2015)¹³ - p.40].

- le fait que l'un des temps forts de l'histoire du design – à partir des années 1920 – se situe au moment où les artistes décident d'assumer l'industrie en travaillant « non plus contre [...] et à cause [*de la production industrielle*], mais avec elle et grâce à elle », réalisant ainsi l'alliance entre l'art et l'industrie imaginée par Henry Cole à la fin du XIX^{ème} siècle et conférant au design le statut d'art « appliqué à l'industrie » [Vial et Jouin, 2010 - p.27] (nous développerons ce point historique au § I.2). Cet exemple de mutation sert pleinement le propos du design sonore ; il en illustre, d'une certaine manière, sa propre histoire et notamment son émergence dans le champ industriel à la fin des années 1990. Il correspond par ailleurs à la plupart des configurations actuelles de projet favorisant non seulement la relation art-industrie mais déployant également, le cas échéant, un triptyque art-science-industrie qui peut se révéler emblématique de la pratique du design sonore (nous reviendrons sur ce point au § III.2.2.b).

- le fait que le design soit fondamentalement une discipline du projet qui peut « à la fois [...] se projeter, se programmer, se préparer à l'avance et à la fois [...] trouver une forme concrète »¹⁴. Dit autrement, le projet est l'expression d'un « dualisme » entre « la conception et la réalisation » et sous-tend l'idée d'une méthode qui permet d'anticiper, de prévoir la réalisation afin d'en maîtriser les aléas et la complexité, associant ainsi cette notion à celle de « méthodologie de la conception » [Vial, 2015a]. De ce point de vue, « le designer est un projeteur » qui opère son processus de projection à la fois sur le plan existentiel (anticipation, vision de l'avenir, fabrication d'« utopie »), sur le plan conceptuel (représentation de la réalité), et sur le plan visuel (communication, monstration des idées) [Vial et Jouin, 2010 - p.72]. Transposée au domaine du design sonore, cette dualité conception-réalisation se retrouve dans la plupart des projets appliqués (nous en donnerons un exemple au § III.2.3.b) et cette notion de projection illustre parfaitement la discipline – l'une des traductions de 'design sonore' en italien n'est-elle pas *progettazione del suono* ? – et soulève, à cette occasion, des problématiques spécifiques liées à la représentation / communication des idées que nous aborderons précisément plus loin dans le document (§ IV.1.2.c).

¹² <http://designetartsappliques.fr/taxonomy/term/14>

¹³ [http://designetartsappliques.fr/sites/default/files/Rapport Design&métiers d%27art nov2015 .pdf](http://designetartsappliques.fr/sites/default/files/Rapport%20Design&m%C3%A9tiers%20d%27art%20nov2015.pdf)

¹⁴ [http://designetartsappliques.fr/content/le-design-et-les-arts-appliqués-propositions-de-définitions](http://designetartsappliques.fr/content/le-design-et-les-arts-appliqu%C3%A9s-propositions-de-d%C3%A9finitions)

I.1.5 Contre-définition

Enfin, dans cette tentative de définition du design sonore, il est également important et instructif de considérer des avis critiques, voire négatifs, sur le sujet, comme celui exprimé par Daniel Deshays dans son récent mémoire d'HDR qui retrace son « parcours de recherche [...] dans le monde du son » et où – dès le premier chapitre de l'ouvrage – il considère « présomptueuse [...] l'idée d'une possibilité d'existence d'un "design sonore". Design : un geste qui relève bien plus de l'"habillage" que d'une quelconque hypothèse de façonnage du son ». Car pour Deshays, preneur de son et concepteur du sonore au théâtre et au cinéma, « le son n'est ni pliable, ni modelable, il est avant tout un intenable objet de l'imagination et sa plastique est pure mémoire, celle qui se rafraîchit incessamment en nous ». [Deshays, 2018]. Ce point de vue, tout à fait légitime vis-à-vis du domaine et du niveau d'expertise de son auteur (une « quarantaine d'années » de travail du son au cinéma ou au théâtre), reste néanmoins discutable lorsque l'on conçoit la relation du son à d'autres *objets*, comme nous tenterons de le défendre dans la suite de ce mémoire.

I.2 Design et recherche en design : tentative d'appréhension(s)

Le design représente un champ de pratiques et de recherches bien plus vaste qu'il nous faut tenter d'appréhender dans l'idée d'y intégrer la *discipline-fille* qui est au centre de ce mémoire, le design sonore. Pour ce faire, nous retracerons une histoire (simplifiée) du design afin d'en saisir les origines conceptuelles, esthétiques et politiques. Nous en donnerons ensuite plusieurs définitions – admises ou possibles – puis nous porterons notre attention sur la recherche en design en livrant, à nouveau, des éléments d'histoire et de définition. Nous finirons enfin par une typologie de la recherche en design qui nous permettra de faire le lien avec l'objet de notre projet : la recherche en design sonore.

I.2.1 Retracer l'histoire du design

D'un point de vue historique, bien que certains auteurs datent la naissance du design dans la première moitié du XIX^{ème} siècle – avec la pionnière de la rationalisation domestique, Catharine Beecher [Midal, 2009] –, à la fin du XVIII^{ème} siècle – « à l'apparition de la machine à vapeur » [Quarante, 1994 - p.21] –, voire à des temps plus reculés encore – « au moment précis où l'homme s'est mis à se servir d'outils » (Kenya Hara, citée dans [Quarante, 1994]) –, il semble que le design soit plus sûrement né au milieu du XIX^{ème} siècle, en réaction à la révolution industrielle en cours [Vial et Jouin, 2010].

Cette période coïncide en effet avec la première parution du *Journal of Design and Manufactures* (Henry Cole et Richard Redgrave, 1849), ainsi qu'avec la tenue de la première Exposition Universelle (Henry Cole, Londres 1851) qui expose des réalisations associant arts, sciences et industries, notamment dans l'enceinte de l'emblématique *Crystal Palace*, œuvre de l'architecte, botaniste et paysagiste Joseph Paxton, inspirée de la structure organique d'une espèce de plantes aquatiques (cf. l'exposition *Invention/Design. Regards croisés*, Musée des Arts et Métiers, 2016¹⁵) – préfigurant, d'ailleurs peut-être, l'une des tendances du design au bio-mimétisme (*bio-inspired design*) [Lidwell et al., 2010 - pp.156-157].

A cette époque, de nombreux artistes s'accordent sur le fait que, outre l'exode, la misère et la deshumanisation qu'elle entraîne, l'activité industrielle – essentiellement liée à l'industrie du charbon et à la sidérurgie – produit également de la laideur et des objets de mauvaise qualité. C'est précisément sur ce sentiment de « rejet » que naît le projet, l'ambition, ou l'« utopie » du design : rendre le monde meilleur en reliant l'art avec l'industrie, imaginer une production industrielle mariant harmonieusement la « fonction », la « décoration » et l'« intelligence » et former des « projeteurs industriels » capables d'améliorer les productions en série de l'industrie [Midal, 2009]. C'est ainsi que, sous l'impulsion de William Morris, l'un de leurs plus fervents promoteurs, les arts décoratifs – incarnés notamment plus tard dans l'*Art Nouveau* – connaissent un renouveau et constituent l'une des premières origines du design en visant à rendre « plaisant, beau et généreux le cadre matériel de [la] vie » et souhaitant à « l'ensemble [des sociétés civilisées] un environnement de cette qualité ». Il n'est cependant pas encore question de *design* mais plutôt d'*art décoratif* ou d'*art appliqué*, termes communément confondus – même si, en toute rigueur, le second résulte de l'abréviation d'*art appliqué à l'Industrie* (Etienne Souriau) – qui correspondent à « l'activité qui confère des qualités ornementales aux objets utilitaires » (W. Morris, cité dans [Vial et Jouin, 2010]).

¹⁵ <https://www.arts-et-metiers.net/invention-design>

Dans la lignée de ce premier mouvement, d'après Vial, l'année-zéro du design se situe potentiellement au début du XX^{ème} siècle, précisément en 1907, en Allemagne. En effet, cette année-là deux événements importants et conjoints ont lieu. D'une part la création d'une association d'artistes, artisans, architectes allemands, l'« Union de l'œuvre allemande » (*Deutscher Werkbund*) initiée par Hermann Muthesius, défenseur de l'industrialisation et observateur privilégié de l'évolution artistique et technique qui a eu lieu quelques années auparavant en Angleterre. D'autre part, la nomination de l'architecte Peter Behrens¹⁶ – par ailleurs membre du *Deutscher Werkbund* – au poste de directeur artistique de la firme industrielle AEG, pour laquelle il conçoit tous les supports (design des produits, image de marque, architecture des bâtiments, etc.), incarnant ainsi « la première grande collaboration entre l'art et l'industrie » et devenant, de fait, « le premier designer industriel de l'histoire » – en réconciliant, au passage, les querelles internes au *Werkbund* entre promoteurs de l'industrialisation (H. Muthesius) et défenseurs de l'artisanat (Henry Van de Velde) [Vial et Jouin, 2010].

Après le rejet des premiers temps, c'est donc avec l'« assumption de l'industrie » et sa convergence avec les arts décoratifs et l'artisanat, que se développent désormais les idées du design qui seront par la suite puissamment incarnées dans l'école du Bauhaus fondée en 1919 par Walter Gropius (également membre du *Deutscher Werkbund*), dans une fusion de l'Académie des beaux-arts et de l'Ecole des arts appliqués de Weimar. La mission du Bauhaus sera d'être « un établissement d'enseignement, conseiller artistique de l'industrie, des métiers d'arts et de l'artisanat » et sa devise restera « art et technique, une nouvelle unité ». Mais, outre l'architecture, le Bauhaus pose également les fondements modernistes du design en prônant l'accord entre l'esthétique et la technique, la forme et la fonction¹⁷, et finalement le fonctionnalisme comme « instrument de prédilection permettant [...] de réformer la société » [Midal, 2009] (cf. l'exposition *L'esprit du Bauhaus*, au musée des Arts Décoratifs – Paris, 2017¹⁸). Sa pédagogie est dispensée dans tous les domaines de la création appliquée : céramique, menuiserie, métal, textile, verre, imprimerie, photographie, ... et bien sûr, architecture. Elle comporte trois éléments principaux : d'une part, un « cours préliminaire » (propédeutique) permettant d'appréhender les propriétés élémentaires de chaque matériau, forme, mouvement, etc. – qui inspirera par la suite les approches de type *basic design* ; d'autre part, des cours d'atelier assurés par un couple « maître de métier » (artisan assurant la formation manuelle et technique) / « maître de forme » (artiste enseignant les principes esthétiques généraux – dont, entre autres, Wassily Kandinsky, Paul Klee, Josef Albers ou Laszlo Moholy-Nagy [Weber, 2015]) ; et enfin, des enseignements scientifiques à caractère théorique.

Le troisième acte de l'histoire du design se joue aux Etats-Unis, dans les années 1920 où se développe le design industriel (*industrial design*) sous l'impulsion notamment de Raymond Loewy – jeune ingénieur français émigré aux Etats-Unis, en 1919. Il est représenté essentiellement par le mouvement *Streamline* caractérisé par un style épuré, fluide et futuriste qui incarne à la fois le désir d'invention et d'anticipation, mais également, le principe de simplification et de « réduction à l'essentiel » (R. Loewy), rejoignant ainsi le postulat minimaliste formulé par l'un des derniers acteurs clés du Bauhaus : « *Less is more* » (Ludwig Mies van der Rohe). Quelques décennies plus tard, dans les années 1950, notamment en réaction au caractère mercantile de l'*industrial design*, un mouvement dérivé émerge en Europe, et surtout en France : l'esthétique industrielle. Initié par Jacques Viénot, dans le sillage du mouvement Porza¹⁹, et suivi, entre autres, par Roger Tallon ou Jean Partenay, ce mouvement basé sur un « fonctionnalisme esthétique » – et non « mercatique » comme pour son pendant américain [Vial, 2015a] – s'affirme comme une « science du beau dans le domaine de la production industrielle ». Il sera formalisé par une « Charte de l'Esthétique industrielle » comportant treize « lois » dont celles d'« harmonie entre l'apparence et l'emploi », de « satisfaction », ou bien la « loi des arts impliqués » qui acte « l'intégration de la pensée artistique dans la structure de l'ouvrage considéré » (J. Viénot, 1952). Cela étant, de manière apparemment non-anodine [Vial, 2015a], c'est le terme 'design industriel', sa traduction anglophone *industrial design* et donc toutes les valeurs associées, qui passera finalement à la postérité pour représenter et désigner cette évolution majeure du design entre les années 20 et 60 du XX^{ème} siècle.

Cet essor progressif du design, qui culmine dans les années 1960 en s'appuyant sur une situation de plein régime de production, de diffusion et de consommation [Midal, 2009], s'accompagne également de critiques sur ses liens avec le productivisme et le consumérisme du modèle capitaliste, et finalement d'une profonde remise en cause morale. Des personnalités, des mouvements ou des institutions deviennent ainsi les porte-paroles de visions alternatives du design renouant parfois avec l'approche plus humaniste de ses

¹⁶ <http://indexgrafik.fr/peter-behrens/>

¹⁷ selon la célèbre phrase de l'architecte Louis Sullivan : « forms ever follows function » (*Lippincott Journal*, Philadelphie, 1896)

¹⁸ <http://madparis.fr/francais/musees/musee-des-arts-decoratifs/expositions/expositions-terminees/l-esprit-du-bauhaus-1510/>

¹⁹ <http://blogs.lecolededesign.com/designethistoires/2014/02/26/porza-and-jacques-vienot-from-an-artists-melting-pot-to-a-program-for-french-industrial-design/>

débuts – ceux de W. Morris ou du Bauhaus, notamment. Parmi eux, Tomas Maldonado prône dès les années 60 au sein de l'école de design d'Ulm – héritière de la pensée du Bauhaus –, « un design au service de l'individu et non de la société de consommation ». Quelques années plus tard, dans un ouvrage de référence intitulé *Design for the real world* (1973), Victor Papanek postule que « le design doit devenir un outil novateur [...] adapté aux vrais besoins des hommes ». A la même période, en Italie, divers mouvements contestataires se développent dont celui porté par Joe Colombo qui refuse le rôle du designer comme « opérateur du capitalisme » en proposant « un *antidesign* qui s'oppose au culte triomphal de l'objet, c'est-à-dire un design constitué d'éléments anonymes adaptés à la production de masse, personnalisés au moment de leur assemblage [...] » et en introduisant la notion de « dynamique » temporel dans la notion de fonctionnalité. Enfin, dans une « lettre aux designers » publiée en 1990 dans une revue de design, le designer italien Ettore Sottsass (célèbre notamment pour sa collaboration avec Olivetti) invite ses pairs à réfléchir à ces évolutions en affirmant « qu'il est temps [...] d'opposer au primitivisme et à la barbarie de la culture industrielle une nouvelle dignité, une conscience plus aigüe de la valeur de l'existence, une vision claire d'aspiration au calme, au bonheur, au jeu et au plaisir que poursuit l'humanité ».

Enfin, le début du XXI^{ème} siècle semble être marqué par un nouveau tournant dans l'histoire du design, la naissance d'un « nouveau modèle philosophique ». Théorisé par l'ouvrage de Klaus Krippendorff, *The Semantic Turn : a New Foundation for Design* (2006), ce tournant est à caractère sémantique et considère dorénavant le design comme « une fabrique du sens des choses », une conception d'artefacts pour « produire des significations et avoir une portée sociale ». Dans la lignée des mouvements contestataires de la fin du XX^{ème} siècle, on passe donc du « design centré sur la technologie » qui s'intéresse aux objets au « design centré sur l'humain » qui s'intéresse aux sujets, tentant ainsi de revenir à nouveau vers les racines humanistes de la discipline. En conséquence, adossée aux nouvelles technologies de l'information et de la communication et plus largement, à un nouvel ordre numérique du monde (réalité augmentée, personnes et objets connectés, intelligence artificielle, etc.), cette nouvelle conception du design voit émerger de nouvelles pratiques : design d'interaction, design de services, management design, UX design, design centré utilisateur, design durable, etc. qui s'ouvrent potentiellement à des « préoccupations plus sociales, politiques et culturelles » [Vial, 2015a].

1.2.2 Définir le design

Sur le plan de la terminologie, le design a connu plusieurs acceptions successives qui reflètent l'évolution et la réactualisation permanente de la discipline. Malgré tout, le terme reste un « mot-valise qui appelle une variété de pratiques et de définitions » présentant une réelle « indétermination sémantique » que l'on tente de préciser en y ajoutant des qualificatifs : industriel, produit, numérique, textile, graphique, (sonore ?), etc. [Lemarchand, 2010]. Selon d'autres points de vue, il représente une discipline dont la grande force est précisément de ne pas être régie par une définition unique [Buchanan, 2001], voire « une activité dont nous tolérons l'indéfinition » (Jean-Louis Fréchin, cité dans [Vial et Jouin, 2010]), voire plus encore, une « in-discipline » [Gentes, 2017], appellation qui témoigne de son extrême inter-disciplinarité et de la déconstruction des disciplines établies qu'il induit. Un passage en revue – systématique mais non exhaustif – de cette variété de définitions nous permet de confirmer ces propos et d'étayer des éléments historiques donnés précédemment :

« Le design industriel est une activité créatrice dont le but est de déterminer les propriétés formelles des objets produits industriellement. Par propriété formelle, on ne doit pas entendre seulement les caractéristiques extérieures, mais surtout les relations fonctionnelles et 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 » (ICSID – *International Council of Societies of Industrial Design*, 1961)²⁰

« Le design est une activité créatrice dont le but est de définir les multiples qualités des objets, procédés, services et des systèmes dans lesquels ils sont intégrés au cours de leur cycle de vie. C'est pourquoi, le design constitue le facteur central d'humanisation innovante des technologies et un moteur essentiel dans les échanges économiques et culturels » (ICSID, 2002)

« Le design industriel est la pratique professionnelle qui consiste à concevoir des produits utilisés quotidiennement par des millions de personnes dans le monde. Les designers industriels ne se concentrent pas uniquement sur l'apparence d'un produit, mais aussi sur la manière dont il fonctionne, dont il est fabriqué et, finalement, sur la valeur d'expérience qu'il procure aux utilisateurs » (IDSA – *Industrial Designer Society of America*)²¹

²⁰ L'*International Council of Societies of Industrial Design* est devenu la *World Design Organisation* : <http://wdo.org>

²¹ <http://www.idsa.org/events/what-id>

- « Le design est un processus de production de formes d'artefacts nouvelles, adaptées à leurs fonctions » (Lysianne Lechot-Hirt, citée dans [Lemarchand, 2010])
- « Le design est une activité dynamique qui instaure des concepts, des faits, des méthodes entre les disciplines (art, sciences sociales / humaines, sciences pour l'ingénieur), de manière à faire émerger de nouveaux concepts, de nouveaux artefacts ou de nouveaux scénarios » [Gentes, 2017]
- « Le mot *design* [...] manifeste le rapport intime entre la technique et l'art. [...], il désigne aujourd'hui approximativement le point où l'art et la technique (et par conséquent la pensée scientifique, celle qui fixe l'échelle des valeurs) en viennent à se recouvrir pour ouvrir la voie vers une culture nouvelle » [Flusser, 2002 - p.10]
- « Design (n.m.) : discipline visant à une harmonisation de l'environnement humain, depuis la conception des objets usuels jusqu'à l'urbanisme » (Larousse en ligne, 2018)²²
- « Le but du design est d'améliorer, ou au moins de maintenir, l'habitabilité du monde dans toutes ses dimensions : physique/matérielle, psychologique/cognitive/émotionnelle, spirituelle/culturelle/symbolique » [Findeli, 2010]
- « Le design est la conception et la planification de l'univers artificiel » (Victor Margolin et Richard Buchanan in [Margolin, 1995])
- « Tel est le design [...] : tromper la nature au moyen de la technique, surpasser le naturel par l'artificiel. [...] Un *designer*, c'est un comploteur perfide qui tend des pièges » [Flusser, 2002 - pp .8, 10-11]
- « Une métaphore de l'activité de design est [de considérer] le design comme du *bricolage* » [Louridas, 1999] – en considérant ici le concept de *bricolage* comme un mode de pensée et d'opération qui consiste à exploiter les matériaux, objets ou systèmes existants en les détournant de leur fonction première afin d'en extraire des propriétés ou des usages nouveaux (voir la définition de Claude Levi-Strauss exposée par Louridas ou Jehanne Dautrey [Dautrey, 2010 - pp.28-35]).

I.2.3 Comprendre la recherche en design

La recherche en design, quant à elle, présente quasiment autant de définitions que d'auteur(e)s ou d'articles traitant du sujet. Elles s'inscrivent néanmoins toutes, plus ou moins, dans la définition formelle de la recherche scientifique, à savoir la production de connaissances²³. Nous serons amenés, dans la suite de ce mémoire, à en développer certaines (cf. § IV.1), mais pour l'instant, nous en retiendrons principalement trois, correspondants à trois caractères importants.

La première est historique, du fait de son auteur et du contexte de son énonciation (conférence de la *Design Research Society*, 1981). « La recherche en design est une quête systématique ayant pour objectif la connaissance de [*savoir-faire*], ou dans [*savoir*], l'intégration de la forme, la composition, la structure, la finalité, la valeur ou le sens de tout artefact et système artificiel, créé par l'homme »²⁴ (Bruce Archer (1981), cité dans [Bayazit, 2004] – traduction personnelle inspirée de celles données dans [Lemarchand, 2010] et [Vial, 2015b]).

La seconde est analytique ; elle est produite à l'occasion d'un article de revue couvrant quarante années de recherche en design ; elle détaille les différents questionnements qu'induit la recherche en design qui : a/ concerne l'usage des artefacts conçus par l'homme (*artificial things*) ... ; b/ réfléchit sur la manière de travailler, de penser des designers ... ; c/ réfléchit sur les conditions d'existence et de signification d'un produit de design ... ; d/ s'intéresse à l'incarnation des formes ... ; e/ représente une systématique acquisition de connaissances sur le design [Bayazit, 2004]

La troisième est générique ; elle est énoncée par Stéphane Vial, à l'occasion de la naissance de la revue *Sciences du Design* (dont il est, par ailleurs, l'un des fondateurs). « La recherche en design est la tentative visant à faire du design une discipline scientifique », discipline qu'il nomme du même coup « sciences du design » [Vial, 2015b].

Historiquement, cette « quête » de la recherche en design peut probablement se matérialiser, en premier lieu, par l'interrogation de W. Gropius en 1947 : « Existe-t-il une science du design »²⁵ ? Mais cette question prend tout son sens dans les années 1960, sous l'impulsion du New Bauhaus de Chicago, de l'école de design d'Ulm (HfG) – dont la pédagogie s'ouvre aux connaissances scientifiques diverses

²² <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/design/24461>

²³ « Recherche (n.f.) - Ensemble d'études et de travaux menés méthodiquement par un spécialiste et ayant pour objet de faire progresser la connaissance » (Larousse en ligne, 2018 – <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/recherche/67011>)

²⁴ « Design research is systematic inquiry whose goal is knowledge of, or in, the embodiment of configuration, composition, structure, purpose, value, and meaning in man-made things and systems » ([Archer, 1981], cité dans [Bayazit, 2004])

²⁵ « Is there a science of design ? » (W. Gropius – *Magazine of Art*, 1947)

(mathématiques, sociologie, psychologie, politique, philosophie, etc.) – mais aussi du Royal College of Art (RCA) où B. Archer fonde, en 1964, le premier département de recherche en design. Elle s'incarne alors principalement dans le mouvement des *Design Methods* – puis plus tard, en 2005, dans la création de l'*International Association of Societies of Design Research (IASDR)*²⁶.

Le mouvement des *Design Methods* connaît, depuis ses débuts, de nombreux développements portés par des protagonistes (et des institutions) de renom tels que John Christopher Jones (Open University), Herbert Simon (Carnegie Mellon University), Christopher Alexander (Université de Californie, Berkeley), Horst Rittel (HfG – Ulm) et donc Bruce Archer (RCA). Il s'articule globalement autour de deux grandes périodes (*generations*) : la première considère le design comme une méthode scientifique, logique et systématique de résolution de problèmes, dans une vision machinique du monde, « inspirée de la cybernétique et de l'intelligence artificielle » [Vial, 2015b] ; la seconde acte le fait que le design pose des « problèmes épineux » (*wicked problems*) qui demandent une approche davantage phénoménologique prenant en compte la complexité de la réalité et nécessitant, entre autres, l'implication et la participation des parties prenantes (*stakeholders*) dans les processus de décision (*participatory design*) [Bayazit, 2004]. Cela étant, et quelle que soit la manière dont on lit et résume son histoire compliquée, l'un des principaux apports de ce mouvement majeur de la recherche en design réside dans le renoncement définitif à l'idée, amorcée depuis le Bauhaus et exprimée en 1971 par H. Rittel en ces termes : « l'acte de design n'est pas un flux incessant d'évènements créatifs ; c'est un travail hautement organisé et structuré, qui est seulement occasionnellement interrompu par de soudaines idées et intuitions. [...], on ne peut pas tenir pour acquis que ces rares "évènements créatifs" sont nécessairement mystérieux et au-delà de toute compréhension » [cité dans [Vial, 2015b]].

Plus précisément, pour Nigel Cross, la recherche en design exprime la volonté de considérer le design par des méthodes et approches scientifiques, autrement dit de 'scientiser' (*scientise*) la discipline; elle est cependant l'expression de liens parfois confus entre science et design pouvant être décrits selon trois axes majeurs [Cross, 2001] :

- le design scientifique (*scientific design*) qui se réfère aux pratiques modernes du design – par opposition au design pré-industriel plutôt artisanal (*craft-oriented*) – et qui utilise un mélange de rationalité et d'intuitivité dans ses méthodes en exploitant les connaissances scientifiques dans divers domaines de base (sciences des matériaux, des structures, voire psychologie ou sciences du comportement) ;
- le design comme science (*design science*) qui repose sur « une méthode logique et systématique du processus de conception » [Vial, 2015b] et correspond donc à une démarche de design systématique (*systematic design*), organisant de manière rationnelle le processus de design et adressant, de fait, une problématique de définition/catégorisation des phénomènes et des processus. Nous avons vu au paragraphe précédent que cette vision était cependant controversée dans la mesure où elle représente une « tentative continue de fixer l'ensemble de la vie à l'intérieur d'un cadre logique » (Jones, cité dans [Cross, 2001]) mais aussi parce que, au contraire de la science, la rationalité de la méthode n'est pas forcément jugée vitale à la pratique du design où les données ne nécessitent pas forcément d'être répétées ou reproduites. Ainsi, à nouveau, tout en réfutant le fait que l'acte de design en lui-même n'a pas de caractère scientifique, ce mouvement semble avoir par ailleurs contribué à sa démythification, en cessant de le considérer comme « un processus créatif reposant essentiellement sur l'intuition solitaire d'un designer-artiste inspiré » [Vial, 2015b].
- la science du design (*science of design*) qui, selon Cross, devrait être comprise – au même titre que n'importe quelle autre science – comme un ensemble de disciplines ayant le design comme centre d'intérêt du point de vue de la connaissance. La science du design s'apparente alors à une activité visant à accroître les connaissances en design au moyen d'outils et de méthodes scientifiques (*i.e.* systématiques et valides) et correspond à l'étude du design en tant que tel : ses principes, ses pratiques et ses procédures. C'est une vision réflexive du design qui aboutit à la notion de design comme discipline (*design as a discipline*) et considère des modes d'acquisition de connaissance, de pensée et d'action propres au design (*designerly ways of knowing, thinking and acting*). C'est une vision qui aboutit finalement à considérer le design comme une discipline à part entière (*a coherent discipline of study on its own right*), un objet d'étude cohérent et une culture spécifique [Archer, 1979].

²⁶ <https://iasdr.net>

I.2.4 Classifier la recherche en design

Cela dit, en première approximation, les différentes manières de pratiquer la recherche en design peuvent se classer en trois grandes catégories. Cette classification correspond au découpage typologique proposé initialement par Christopher Frayling [Frayling, 1993] puis repris, renommé – et le cas échéant relié –, entre autres, par Richard Buchanan [Buchanan, 2001], Alain Findeli [Findeli, 2004] ou Lois Frankel et Martin Racine [Frankel et Racine, 2010]. Il est malgré tout important de noter que cette représentation continue de faire débat au sein de la communauté et donne lieu à des variations d'interprétation non négligeables suivant leurs auteurs.

- la recherche **pour** le design (*research for design*), qualifiée également de « clinique » (*clinical*). Elle concerne des problématiques singulières requérant une démarche spécifique et possédant un faible niveau de généralité. C'est, pour Findeli, le type de recherche le plus fréquemment mis en œuvre dans un projet de design « devant aboutir à un produit ou un objet ». C'est, en outre, un mode de recherche par nature prescriptive, basé sur une démarche de documentation et de collecte d'informations qui fournit des données que le designer peut ensuite utiliser pour atteindre son objectif de design. Les données peuvent être issues de divers domaines connexes au problème posé (la technique, l'ergonomie, la sociologie, etc.), et être collectées par des méthodes aussi bien quantitatives (mesures physiques, physiologiques, comportementales, etc.) que qualitatives (interviews, rapports d'observation, analyses de l'activité, etc.). En somme, il s'agit d'une recherche qui rend possible le design (« *research to enable design* ») ((Downton, 2003), cité dans [Frankel et Racine, 2010]), basé sur l'exploration, la mise en situation et l'évaluation. En cela, certains auteurs, recensés par Frankel et Racine, la qualifient également de « recherche conduite-par-la-pratique » (*practice-led research* (Rust, 2007)), de « recherche basée-sur-l'activité » (*activity-based research* (Kumar, 2003)), ou bien encore de « recherche orientée-design » (*design-oriented research* (Fallman, 2005)) voire de « recherche-action » (*action research* (Archer, 1995)), même si, à première vue, cette dernière appellation peut potentiellement porter à confusion vis-à-vis de la définition communément admise de ce type de recherche (notamment en sociologie ou en sciences de l'éducation) : la recherche-action, telle que théorisée initialement par Kurt Lewin (1946), considère en effet « l'expérience, l'action (ou l'activité) comme source de connaissance »²⁷ et est fondée sur un « double objectif : transformer la réalité et produire des connaissances concernant ces transformations » ((Hugon et al., 1988), cité dans [Allard-Poesi et Perret, 2003]).

Cela étant, vu sa nature singulière, la recherche pour le design peut parfois interroger sur sa capacité à produire de la science en tant que telle. Frankel et Racine se posent, par exemple, la question de savoir comment cette pratique clinique peut se transformer en savoir généralisé dans le domaine du design, surtout si l'étude en question tombe sous le coup de clauses de confidentialité ! Dans la même idée, Findeli lui « reproche » notamment – peut-être de manière un peu trop appuyée ? – son « défaut de mémoire », le fait qu'elle ne produise ni « accumulation [ou] progrès de connaissances », ni « corpus » constitué, et qu'elle développe peu d'« effort de systématisation, de diffusion et de critique ».

- la recherche **par** le design (*research through design*), qualifiée également – et peut-être de manière un peu contre-intuitive – d'« appliquée » (*applied*). Elle est associée, notamment par Findeli, à la théorie – au contraire de la recherche pour le design, qu'il associe à la pratique – et vise, en premier lieu, la production de connaissances en design et non la production de solutions de design. Plus exactement, elle combine une approche de type recherche clinique (cf. ci-dessus) avec une réflexion sur une question de recherche qui ne se limite pas à un objet d'étude en particulier. Elle rentre ainsi dans une définition élargie du design, considéré à la fois comme une discipline du "faire" et un cadre élargi de réflexion et de recherche [Friedman, 2000]. En cela, la recherche par le design peut apparaître sous la dénomination « design orienté-recherche » (*research-oriented design* (Fallman, 2003)), « recherche ancrée-projet » (*project-grounded research* (Findeli, 1995)) ou tout simplement « recherche-projet ».

Précisément, pour Findeli, la recherche-projet constitue une méthode à part entière de la recherche en design globalement basée sur une « réflexion théorique en situation » [Findeli et Bousbaci, 2005]. Il s'agit d'un « type de recherche "actif", situé et engagé dans le champ d'un projet de design [...], le projet étant l'équivalent [...] du "terrain" des sciences sociales et du "laboratoire" de la recherche expérimentale ». Pour Findeli encore, la recherche-projet emprunte ses caractéristiques à la fois à la théorisation ancrée (*grounded theory* – voir aussi § IV.1.1.b à ce sujet), à la recherche participative (*co-design* – voir aussi § IV.1.2.c à ce sujet), à la phénoménologie et, en tout premier lieu, à la recherche-action « qu'en design, on appelle recherche-projet » [Findeli, 2015] – renouant ainsi avec le sens communément admis de cette appellation (cf. point précédent).

²⁷ <http://www.la27eregion.fr/mieux-comprendre-la-recherche-action/>

• la recherche **sur** le design (*research about/into design*) qualifiée également de « fondamentale » (*basic*). Elle présente également un aspect théorique – voire épistémologique – dans la mesure où elle est généralement associée à l’histoire, la théorie, l’esthétique ou l’analyse des pratiques du design. Pour Findeli, elle examine plus largement « [les] objets ou [les] phénomènes relevant du monde du design » par le prisme méthodologique et/ou théorique de disciplines scientifiques particulières telles que « l’histoire de l’art, l’ergonomie [mais aussi], l’histoire sociale, la sémiotique, l’anthropologie, la psychologie cognitive et la sociologie [ou bien encore], le génie industriel, les sciences de gestion [etc.] ». Pour Nigel Cross, ce type de recherche adresse des questions relatives à l’activité, au statut et à la cognition du design, et plus largement, à la compréhension des mécanismes de créativité qui opèrent dans le design [Cross, 2006 ; 2011]. La recherche sur le design peut également avoir pour objet d’études, les processus de définition des problèmes de design (*problem setting*) ((Schön, 1983), cité dans [Frankel et Racine, 2010]) ainsi que les méthodes et outils permettant leur émergence et leur résolution (langage, dessins, maquettes, prototypes, etc.).

Donc, même si elle est encore sujette à débat, cette typologie de la recherche en design permet de mieux comprendre et structurer les actions dans ce domaine. Nous montrerons, en outre, par la suite (§ II à IV), que les différents projets de design sonore que nous avons menés jusqu’à présent s’insèrent plutôt naturellement dans l’une ou l’autre de ces trois catégories (recherche *pour*, *par* ou *sur* le design sonore), mais également, que nous avons tenté de converger progressivement vers des formes de *recherche-projet* (voir, p. ex., § III.2.2.b) qui ont notamment permis l’émergence de certaines idées et réflexions, à la base du processus d’extension proposé (§ IV).

Par ailleurs, et dans une certaine mesure, la problématique de la recherche en design peut sembler rejoindre celle – peut-être plus récente – de la recherche en art et les questions induites qu’elle adresse : légitimité de la démarche, statut de l’artiste-chercheur, forme des productions, coexistence de la pratique et de la théorie, recherche *vs.* création, recherche individuelle *vs.* collective, modes d’évaluation, voire enjeux politiques et institutionnelles, etc. [Dautrey, 2010]. Ce glissement thématique fait ainsi émerger une catégorie de recherche en design se situant à la croisée des catégories précédentes – au moins des deux premières, selon le point de vue de leurs partisans respectifs –, et qui fait apparemment polémique, en tout cas dans la communauté francophone : la *recherche-crétation*. Simple « quête créative » pour certains [Vial, 2015b], alternative à une « vision purement scientifique de la recherche en design » pour d’autres [Lechot-Hirt, 2015], cette approche de recherche en design semble constituer un modèle diamétralement opposé à celui de la *recherche-projet*, théorisé et défendu notamment par A. Findeli et S. Vial [Vial, 2015b - pp.29-32].

Car, ce que revendique fondamentalement la recherche-crétation en design – terme utilisé à l’origine dans un cadre institutionnel de recherche artistique, au milieu des années 2000, au Québec, puis repris et étudié ensuite, notamment dans le domaine des « arts médiatiques »²⁸ –, c’est la capacité à « produire du raisonnement de design incarné dans des objets » et la possibilité de « remettre de la création, en tant que production aboutie de formes, au sein de la recherche [afin de] contribuer à préciser [...] le champ épistémologique propre du design ». Autrement dit, il s’agit de concevoir que le « designer-chercheur [...] crée et transmet du savoir [...] en produisant sa recherche sous forme de création d’objets [...] qui ont des effets ». En outre, ce que préconise la recherche-crétation en design, c’est de constituer un « socle solide », une « généalogie [...] d’approches définitionnelles, de créations conceptuelles, d’inventions formelles » qui donnera « une épaisseur nouvelle à l’histoire du design » et « [la] stimulera en posant des jalons » [Lechot-Hirt, 2015].

Loin des débats qui semblent agiter une partie de la communauté du design sur ce sujet, la recherche-crétation peut, là aussi, s’avérer une vision et une ressource potentiellement pertinentes pour modéliser certaines idées et pratiques propres à la recherche en design sonore.

²⁸ <http://archee.qc.ca/ar.php?page=article&no=476>

II. Points de départ historiques

Le projet de réflexion et d'évolution thématiques qui fait l'objet de ce mémoire s'inscrit, non seulement, dans le cadre général des relations entre design, recherche en design et design sonore (présenté au § I), mais aussi dans une lignée historique de la présence du design sonore à l'Ircam, elle-même comprise dans une histoire plus globale de la discipline dont nous donnons, en préambule, les principaux jalons. Dans la première partie de bilan développée ici (§ II), nous revenons ainsi sur l'équipe Design Sonore, intégrée en 1999 par Louis Dandrel, qui exploite et développe des outils spécifiques en s'associant d'abord à d'autres équipes et thèmes de recherche de l'Ircam (l'acoustique des salles ou l'acoustique instrumentale notamment). De fait, le moteur de synthèse sonore par modélisation physique *Modalys* ou bien le système de diffusion multi haut-parleurs à directivité contrôlée *Timée* permettent de mener des premières études, ou de produire des premières œuvres, en design sonore.

II.1 Préambule

Il est de coutume de dater la naissance du design sonore à l'apparition du terme *sound design* dans la distribution de certaines productions cinématographiques américaines des années 1970, notamment issues du genre science-fiction / anticipation. En fait, pour Whittington, les origines de ce nouveau métier correspondent plus précisément à une profonde évolution de l'industrie du cinéma américain qui, au cours de cette période, passe progressivement d'un système classique hérité de l'âge d'or des grands studios hollywoodiens (*the Classical Hollywood system*) à une nouvelle vague hollywoodienne (*the New Hollywood*) qui révolutionne notamment la manière d'appréhender le son au cinéma et, par conséquent, la manière dont les cinéastes et les cinéphiles écoutent les films : « *[they] do not just hear movies in a new way, they 'listen' to movies in a new way, and what they are listening to is sound design* » [Whittington, 2007]. A l'époque, cette révolution s'opère tout d'abord sur des bases esthétiques et technologiques mais également sociales : au système syndical traditionnel prônant la division du travail entre l'enregistrement (*sound recordists*), l'édition (*sound editors*), la composition (*music editors*) et le mixage (*sound mixers*) – le tout supervisé par un directeur-son (*sound supervisor*) –, s'oppose un statut moins rigide exploitant les nouvelles technologies de captation (enregistreur portable, notamment le Nagra III²⁹), d'édition (station de montage multipistes) ou de diffusion (restitution multi-canal, notamment, le système Dolby³⁰) et rassemblé, dans un premier temps, sous la bannière générique de montage sonore (*sound montage*). C'est en ces termes que Walter Murch est crédité pour son travail d'expérimentation, de création et d'arrangement sonores dans le film *THX 1138*³¹ (réalisé par George Lucas, produit par Francis Ford Coppola, et sorti en 1971) qui incarne la première grande référence de cette nouvelle manière de considérer le rapport du son à l'image. Ce terme évolue ensuite vers celui de design sonore (*sound design*), à l'occasion du film *Apocalypse Now*³² (réalisé et produit par F. F. Coppola, sorti en 1979) et associé, à nouveau, à W. Murch. A ce sujet, il est intéressant de noter que le terme *sound design* est "inventé" à l'origine par Murch pour principalement rendre compte du travail de déploiement dans l'espace de la bande-son du film : « *I had a detailed mapping out of the sound effects and the music [...] that's actually where the concept of sound design came from* » [Whittington, 2007 - p.23]. Cette nouvelle approche lui permet de créer des plans sonores, de localiser les sources et, *in fine*, d'immerger le spectateur – autrement dit, lui confère le rôle d'architecte sonore du film (où l'on retrouve pertinemment la relation son/espace). Par la suite, au fur et à mesure de l'expansion du métier – et même si, semble-t-il, celui-ci n'est toujours pas officiellement reconnu par les instances professionnelles américaines [Whittington, 2007 - p.26] –, le sens du terme *sound design* s'élargira pour finalement recouvrir toutes les différentes approches de création d'effets sonores en relation avec l'image, et se retrouvera associé à des productions (et des designers) mythiques allant de la série des Star Wars – 2 premières trilogies – jusqu'à Wall-E (Ben Burtt), en passant par Minority Report, Terminator 2 (Gary Rydstrom), The Matrix (Dane Davis), ou bien encore Eraserhead, Elephant Man ou Mulholland Drive (où David Lynch, lui-même, est crédité au poste de *sound designer* ou *sound effects*).

²⁹ « L'invention et l'impact du Nagra, chasseur de sons. » (L. Zattra. Ircam, 2018) : <https://medias.ircam.fr/x957613>

³⁰ <https://www.dolby.com/us/en/about/history.html>

³¹ http://www.imdb.com/title/tt0066434/fullcredits?ref=tt_ov_wr-writers/

³² http://www.imdb.com/title/tt0078788/fullcredits?ref=tt_ov_wr-writers/

Cela étant, comme le revendique David Collison dans son ouvrage sur le son au théâtre [Collison, 2008] l'origine historique du design sonore – et l'apparition du statut de designer sonore – peut également se situer au milieu du XX^{ème} siècle, en référence au travail de création sonore pour le théâtre et en analysant, comme le propose Frank Pecquet, l'« ambivalence » de cette pratique à travers le prisme du design sonore comme discipline du projet (cf. § I.1) : « conception et production » [Pecquet, 2017] En effet, pour Collison (cité par Pecquet), le son au théâtre implique principalement deux éléments. D'une part, la mise en œuvre de la science acoustique appliquée à l'architecture afin de concevoir des lieux aux qualités sonores optimales – à ce titre, on pourrait aussi faire remonter l'origine du design sonore au début du XX^{ème} siècle avec Sabine³³, fondateur de l'acoustique architecturale, voire aux civilisations gréco-romaines avec Vitruve ou les concepteurs des théâtres grecs à l'acoustique remarquable. Et d'autre part, la production de contenu sonore (musique, ambiances, effets sonores, bruitages) qui accompagne la narration, la mise en scène et la dramaturgie théâtrales – cette pratique étant reprise, quelques décennies plus tard, au cinéma par les pionniers du *sound design* (cf. paragraphe précédent).

Et, selon un tout autre angle de vue, le point de départ historique du design sonore peut également être associé à la parution, en 1977, de l'œuvre fondatrice de Robert Murray Schafer, *The tuning of the world* [Schafer, 1977]. Dans cet ouvrage, l'auteur propose, entre autres, la vision d'une discipline nouvelle : « *acoustic design* » successivement traduit par « *esthétique acoustique* » [Schafer, 1979], puis « *design sonore* » [Schafer, 2010], reposant sur une série de « principes permettant de juger et de corriger l'environnement sonore dans son ensemble » et pouvant notamment prendre la phrase suivante comme postulat : « s'il faut vraiment être dérangé dix à vingt fois par jour, pourquoi ne pas l'être par un son agréable ? » [Schafer, 2010 - p.346]. Plus précisément, le parallèle entre l'« esthéticien acoustique » d'hier et le designer sonore d'aujourd'hui confirme la position d'initiateur et d'éclaireur de Schafer à l'époque, tant sur le plan de la description disciplinaire du design sonore (acoustique, psychologie, musique, etc.) qu'à propos de questions liées à sa formation (« [...] il n'y a pas d'écoles qui dispensent pareille formation mais leur création ne saurait tarder ») ou bien de potentielles thématiques qu'il sera susceptible d'aborder par la suite : parmi d'autres, les « *promenades acoustiques* » ancêtres des *soundwalk*³⁴ ou de tout autre expérience d'écoute urbaine *in situ*, ou bien « *l'imitation onomatopéique [comme] procédé [pour] l'étude des perceptions* » sur laquelle nous reviendrons un peu plus loin dans le document (§ IV.1.2.b).

Pour notre part, nous nous plaçons dans une lignée historique de la présence du design sonore en France, et à l'Ircam. Dans les années 1990, Louis Dandrel – pendant un temps, associé à Bernard Delage – développe une activité en design sonore à travers une société commerciale (Diasonic) et « un petit laboratoire d'étude » (Espaces Nouveaux) où s'effectuent les premières recherches appliquées en design sonore, notamment au travers d'une « réflexion sur les méthodes et les buts » de cette discipline émergente. En 1999, il réalise le transfert de son activité de recherche – et de ses « dotations publiques » associées – vers l'Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (Ircam) en créant et dirigeant l'équipe « Design sonore » (DS) et en inscrivant le développement de cette discipline dans les missions institutionnelles de l'Ircam au moyen de partenariats scientifiques et techniques, notamment dans le champ de la psychoacoustique / psychologie expérimentale mais aussi, plus largement, dans le champ de l'acoustique [Dandrel, 2012]. Pour Peter Szendy, cette arrivée – dont les missions initiales sont « la conception et la réalisation de l'environnement sonore de lieux publics ou privés » et « le conseil pour la conception de produits industriels », selon les termes mêmes de la convention passée avec l'Ircam – marque une « volonté d'ouverture dans les structures mêmes d'un institut de recherche et de création musicales » [Szendy, 1999].

Ainsi, avec quelques autres personnalités de sa génération et de diverses origines professionnelles comme bien sur Bernard Delage (architecte) mais aussi – pour n'en citer que quelques-uns – Didier Blanchard (acousticien), Roland Cahen (compositeur, enseignant) [PUCA, 2005] ou Jean-Jacques Birgé (compositeur), Louis Dandrel (lui-même, compositeur, musicien et journaliste) peut être considéré comme l'un des pionniers et des premiers promoteurs du design sonore en France qui apparaît progressivement à l'aube du XXI^{ème} siècle.

A cette époque, paradoxalement, le design sonore naît du silence ou plutôt de la conquête du silence. En effet, avant les années 1990, les sons sont globalement considérés comme des nuisances, des phénomènes négatifs, qu'il faut combattre et traiter en tant que tel selon un idéal de « silence absolu »³⁵ – tant du point de vue industriel (cf. l'industrie automobile, par exemple) qu'environnemental (cf. l'approche normative et négativiste des environnements sonores évoquée au §I.1). A la fin des années

³³ https://fr.wikipedia.org/wiki/Wallace_Clement_Sabine

³⁴ <https://en.wikipedia.org/wiki/Soundwalk>

³⁵ <https://m.ina.fr/video/PUB3250584015/lave-vaisselle-the-sound-of-silence-video.html>

1990, en revanche, dans une recherche vertueuse de qualité acoustique globale, le design sonore émerge grâce à une prise de conscience qui s'opère suivant un double constat : le fait que le son puisse être, d'une part, vecteur de sens, et d'information fonctionnelle (cf., entre autres, les travaux sur les portières automobiles [Bezat, 2007] ou l'ouvrage généraliste de Richard Lyon [Lyon, 2000]), et d'autre part, porteur de valeurs esthétiques et identitaires (cf., entre autres, les travaux sur le typage sonore des moteurs thermiques [LeNindre, 2006], ou le "cas" du son Harley-Davidson [Pierson et al., 2003 ; Ozcan, 2014]).

Par ailleurs, dans un cadre de réflexion plus large, il peut s'avérer enrichissant d'établir – modestement – un parallèle entre l'évolution du design sonore et l'évolution des arts et de la création sonores au cours du XX^{ème} siècle (et le début du XXI^{ème} siècle). Durant cette période, il est particulièrement intéressant d'observer comment les sons a priori non musicaux, c'est-à-dire les sons du quotidien – ou « environnementaux », selon la définition consacrée³⁶ [Vanderveer, 1979 - p.16] – ont progressivement pénétré la création musicale et sonore avant-gardiste, en leur conférant une reconnaissance et une légitimité particulières, pour finalement, comme l'écrit Bernard Girard³⁷, inciter à écouter les bruits de l'environnement avec plus de sensibilité et d'attention [Girard, 2014]

Ainsi, dès le début du XX^{ème} siècle, le mouvement futuriste vise la conquête et l'intégration de la variété infinie des « sons-bruits » ou du « bruit musical » dans de nouvelles formes de musique. Luigi Russolo, et son célèbre manifeste « l'Art des Bruits » (*l'Arte dei Rumori*, 1913) donne ses lettres de noblesse aux sons ordinaires inspirés par l'environnement quotidien : « une grande capitale moderne [procure des] plaisirs de notre sensibilité [en générant des] glouglous d'eau, d'air et de gaz [...], borborygmes et râles des moteurs [...], palpitation [...], cris [...], clapotements [...], claquements [...] » [Russolo, 2003 - p.17]. En tant que compositeur, il revendique le « plaisir de combiner idéalement des sons de tramway, d'autos, de voitures et de foules criardes » dans le but « d'entonner et régler harmoniquement et rythmiquement ces bruits très variés » [Russolo, 2003]. Pour cela, il conçoit un ensemble de machines-« bruiteurs » – hululeur, grondeur, crépiteur, strideur, bourdonneur, etc. –, les *Intonarumori*, qui imitent ces sonorités du quotidien (voir l'exposition *Sons et Lumières*, Centre Pompidou, Paris, 2004 ; ainsi que le travail de reconstitution de Stefania Serafin et coll. [Serafin et al., 2006]). Avec cet instrumentarium, il réalise des œuvres musicales jouées lors de concerts-performances – réinventant ainsi le concept de salles de concert qu'il considérait à l'époque comme « des hôpitaux de sons anémiés » –, qui inspireront par la suite des mouvements artistiques comme Fluxus³⁸ et sa culture des événements (*events*). Dans le même temps, et le même mouvement, le compositeur (futuriste) russe, Arseny Avraamov, écrit une « symphonie industrielle », à base de sons de sirènes en tout genre : usines, bateaux, camions, avions, etc. (*Symphony of Industrial Horns*, 1922).

En parallèle, d'autres compositeurs s'intéressent aussi aux sons non-instrumentaux produits par des machines mécaniques : Edgar Varèse compose une pièce pour instruments traditionnels en y intégrant, entre autres, la sirène des pompiers de New-York (*Amérique*, 1921) et Arthur Honegger retranscrit des sons de locomotive dans une œuvre orchestrale (*Pacific 231*, 1923). Un peu plus tard, mais toujours dans la lignée du futurisme, John Cage réalise ses expérimentations musicales et sonores sur le principe du « tout est musique »³⁹, qui le conduit notamment à faire écouter le silence et ses bruits associés (*4'33"*, 1952), à écrire une pièce pour postes de radio (*Imaginary Landscape n°4*, 1951), ou bien à composer avec des sons de liquides et d'ustensiles domestiques (*Waterwalk*, 1959) [Cage, 2014]. La même décennie verra l'éclosion de la musique concrète portée par Pierre Schaeffer – et Abraham Moles – [Schaeffer, 1952 ; Moles, 1960] (voir le colloque « Abraham Moles et l'Ecole de Strasbourg », 2017⁴⁰), et l'émergence de la notion d'objet sonore, « unité sonore perçue dans sa matière, sa texture propre, ses qualités et ses dimensions perceptives propres [...] et] corrélât de l'écoute réduite » [Chion, 1983] (cf. § IV.1.1.b) qui ouvre la voie à l'utilisation de la matière sonore concrète dans la composition musicale – voir, par exemple, *l'Etude aux chemins de fer* de P. Schaeffer (1948). Dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, d'autres artistes / mouvements ont exploité les sons environnementaux comme matière, à l'instar de l'écologie sonore [Solomos, 2012] qui utilise la ville comme source et/ou support de composition (voir les œuvres historiques de Barry Truax ou Hildegard Westerkamp et celles plus récentes de Luc Ferrari, Sébastien Roux ou Jean-François Cavro, parmi d'autres), du mouvement minimaliste (*City Life* de Steve Reich, 1995), ou même du jazz avec, par exemple, la version du standard *A Foggy Day* par Charles Mingus qui transforme pendant un moment les instruments de son quintet en véhicules, klaxons, cornes de brume

³⁶ « (...) any potentially audible acoustic event which is caused by motions in the ordinary human environment. » [Vanderveer, 1979]

³⁷ <http://musiquescontemporaines.blogspot.com/2013/05/la-ville-materiau-sonore.html>

³⁸ <http://www.artwiki.fr/wakka.php?wiki=ArtssonoresFluxus>

³⁹ http://sonhors.free.fr/overview_panorama.htm

⁴⁰ https://www.canal-u.tv/video/uds/abraham_moles_et_la_musique_concrete.37915

(*Pithecanthropus Erectus*, Atlantic, 1956). Plus récemment enfin, à l'ère des différents courants de musique électronique, le lien avec les sons du quotidien peut se retrouver, par exemple, dans l'esthétique *glitch* (Alva Noto, entre autres) qui fait référence aux sons de défaillance et assume ses influences notamment avec la musique concrète.

En outre, il est également intéressant de constater comment certains courants artistiques ou esthétiques sonores ont pu influencer la production en design sonore au cours du temps (voir par exemple, l'évolution du sonal de la SnCF au tournant du XXI^{ème} siècle, entre les versions de Louis Dandrel/Diasonic⁴¹ et de Michael Boumendil/SixièmeSon⁴²) et comment certains compositeurs ont franchi la frontière entre composition musicale et création sonore en adaptant leurs pratiques à des œuvres plus appliquées (installations, jingles, sons d'ambiances, etc.). A ce titre, citons par exemple, la collaboration du compositeur japonais Ryuichi Sakamoto avec la firme Nokia pour la création des sonneries d'un modèle de téléphone portable (2005)⁴³, la création de sonneries de collège par les compositeurs contemporains Philippe Hurel et Mauro Lanza (2003)⁴⁴, la conception de la signature sonore d'un véhicule électrique de la marque Jaguar par le compositeur de musique électronique Richard Devine⁴⁵, ou encore la création du jingle de démarrage du système d'exploitation Windows95, par le musicien et producteur anglais, Brian Eno (1995)⁴⁶.

II.2 Développement ou exploitation d'outils technologiques

A son époque, l'équipe Design Sonore exploite ou développe des outils spécifiques, en s'associant donc d'abord à d'autres équipes de l'Ircam qui jouent plus précisément un rôle de tutelles scientifiques. Parmi elles, l'équipe Acoustique Instrumentale (ACI), dirigée par René Caussé, intégrant la thématique de la synthèse sonore, notamment grâce à l'approche prédictive de la modélisation physique (Modalys). D'autre part, l'équipe Acoustiques des Salles (AdS – rebaptisée depuis *Espaces Acoustiques et Cognitifs*), dirigée par Olivier Warusfel, intégrant la thématique de la diffusion sonore et plus particulièrement du son spatialisée (Spatialisateur, Timée, reproduction binaurale – puis, par la suite, *Wave Field Synthesis* ou protocole *Ambisonic*).

II.2.1 Synthèse sonore – Modalys

En matière de synthèse sonore numérique, il est coutume de définir deux approches opposées : l'une, dite "signal", vise à reproduire les propriétés – spectrales et temporelles – du signal sonore issu d'une source acoustique (synthèses additive/soustractive, par modulation, etc.), l'autre, dite "physique", s'attache à reproduire les mécanismes acoustiques/vibratoires de la source elle-même qui sont responsables de la production du son (synthèse par modélisation physique). Par exemple, au lieu de reconstruire la caractéristique spectrale spécifique au son de clarinette (prédominance des harmoniques impaires sur les harmoniques paires), on simule le fonctionnement physique de l'instrument (qui régit les propriétés du signal qu'il produit) : anche simple battante, résonateur cylindrique et rétroaction acoustique sur la mécanique de l'anche. L'avantage majeur de la synthèse par modélisation physique réside dans le fait que la structure du modèle est similaire à celle de l'instrument ou de l'objet qu'il tente de modéliser (interaction entre un excitateur et un résonateur). Par conséquent, si les phénomènes physiques sont suffisamment bien décrits, le modèle possède intrinsèquement les propriétés du signal sonore de la source modélisée ou les caractéristiques naturelles de l'instrument (par exemple, le saut de registre par la technique d'*overblowing* pour la flûte ou les cuivres). En outre, le modèle est contrôlable par des paramètres *physiques* ou *organiques* qui s'avèrent davantage intuitifs : forme du résonateur (géométrie, masse, densité de matériau, ...), type d'excitateur, force d'excitation, etc.

Le moteur de synthèse *Modalys* fait partie de cette seconde catégorie de synthèse. C'est un logiciel de synthèse sonore par modélisation physique dont le principe de fonctionnement repose sur la théorie modale, ce qui lui confère deux propriétés spécifiques : la modularité et l'interopérabilité. Le formalisme modal permet de décrire le comportement vibratoire d'une structure, ses modes propres de résonance, au

⁴¹ <https://www.youtube.com/watch?v=MnGYmKFx3CU>

⁴² <https://www.youtube.com/watch?v=jaqbMzlkZ1o>

⁴³ <https://www.wired.com/2006/11/sakamoto-ringto/>

⁴⁴ <https://www.lemoniteur.fr/article/college-de-courbevoie-la-rentree-des-artistes.1803664>

⁴⁵ <http://cdm.link/2018/09/jaguar-richard-devine/>

⁴⁶ <https://www.synthtopia.com/content/2015/08/24/the-coolest-feature-of-windows-95-was-created-by-brian-eno-on-a-mac/>

moyen de données modales (fréquences, amortissements et déformées) qui peuvent être obtenues de différentes façons – témoignant ainsi de l'interopérabilité de l'approche :

- par la théorie qui sait résoudre analytiquement quelques cas de structures "idéales" (p. ex., cordes, plaques, membranes, poutres ou tubes acoustiques) ;
- par la pratique de l'analyse modale qui recompose les modes d'une structure réelle à partir de la mesure de fonctions de transfert entre un point émetteur (excité généralement par un marteau d'impact) et un point récepteur (capté généralement par un accéléromètre) ;
- par la simulation qui évalue les modes d'une structure virtuelle à partir de sa modélisation par éléments finis, nécessitant un logiciel de maillage et un moteur de calcul par éléments finis ;
- ou bien, par une approche idiosyncratique et empirique consistant à définir "à la main" les données modales. Cette approche, qui s'éloigne du concept de modélisation physique (puisque'elle ne s'appuie sur aucune loi de comportement), constitue néanmoins un atout pour Modalys : avoir un accès direct au contenu spectral d'un modèle en relation avec la fréquence et le facteur de qualité d'un résonateur numérique, de type filtre. Par ce biais, Modalys fait donc le lien avec une approche plus traditionnelle de la synthèse sonore (type "signal") et peut être ainsi en mesure d'intégrer le savoir-faire dans ce domaine.

Par son caractère uniforme, le formalisme modal qui permet de décrire sous un même "format" des structures de natures différentes (mécanique ou acoustique) confère au logiciel Modalys une autre propriété fondamentale : la modularité. Il en résulte une grande souplesse de construction qui permet d'appréhender une structure complexe par assemblage de sous-structures élémentaires, ainsi qu'un fort potentiel d'hybridation des modèles allant jusqu'à la conception de structures chimériques par couplage non réaliste d'objets incompatibles physiquement (p. ex., une corde et une colonne d'air). Cette approche modulaire permet aussi l'évolution dynamique des modèles au cours de la synthèse [Eckel et al., 1995].

Ces atouts font de *Modalys* un environnement de synthèse ouvert et adaptable qui, à partir d'une bibliothèque d'objets excitateurs, résonateurs et d'interactions, fonctionne comme un atelier de lutherie virtuelle en offrant des possibilités d'assemblage entre sous-structures élémentaires. Par extension, et même si l'hypothèse de linéarité sous-jacente ne permet pas de considérer des grandes amplitudes de vibration – donc potentiellement des déformations plastiques, voire des ruptures –, il peut être considéré comme un véritable outil de design sonore assisté par ordinateur dans la mesure où il permet de modéliser, jusqu'à un certain point, le comportement acoustique d'un objet avant même de le fabriquer et donc d'en réaliser une préfiguration (simulation) sonore (nous illustrerons cette idée au § II.3.1 en décrivant quelques études pionnières en la matière) [Misdariis et al., 2002b].

II.2.2 Diffusion sonore – Timée

Une source sonore se caractérise par trois propriétés physiques fondamentales : son intensité, son timbre et sa directivité. On entend par directivité la fonction spatiale donnant l'intensité rayonnée par la source en fonction de la direction d'émission. Tout objet physique émettant de l'énergie acoustique (p. ex., un instrument de musique) possède une directivité qui lui est propre et qui dépend de sa géométrie ou de sa structure (p. ex., présence d'un pavillon ou de trous latéraux pour un instrument à vent), mais également du niveau et surtout de la fréquence d'émission du son. Par exemple, pour un trombone, le rayonnement acoustique sera globalement omnidirectionnel (monopole) en basses fréquences et plutôt monodirectionnel (cardioïde/hyper-cardioïde) en hautes fréquences, le passage entre ces deux régions spectrales se traduisant par le resserrement progressif (linéaire) du faisceau de directivité de l'instrument dans la direction du pavillon. D'autres instruments, ou familles d'instruments, possèdent des fonctions de directivité soit plus simples – c'est le cas des instruments de type gong qui rayonne globalement de manière bipolaire (dipôle) –, soit au contraire, plus complexes : le violon, par exemple, rayonne de manière très variable en fréquence (parfois d'une note à l'autre) et dans l'espace (alternance de monopoles et de cardioïdes, voire de dipôles) ce qui contribue à sa sonorité – sa « couleur » – et, entre autres, à son émergence au sein de l'orchestre [Weinreich, 1997].

Cela étant, les systèmes de diffusion sonore standards (haut-parleurs électroacoustiques) possèdent une directivité propre qui les rendent à priori incapables de reproduire les propriétés directives de la plupart des sources physiques. En effet, structurellement, l'élément principal du haut-parleur (la membrane) peut être modélisé au premier ordre comme un piston plan bafflé, ce qui impose, de fait, une fonction de directivité unique, variant linéairement en fréquence – malgré tout, comparable en première approche aux cas du trombone ou de la voix (voir [Misdariis, 2014 - pp.54-55] pour plus de détails). Dans le cadre d'une émission en espace clos ou semi-clos, ces écarts à l'idéalité généralisés en termes de rayonnement acoustique sont relayés par la salle – par l'intermédiaire des réflexions multiples qui s'opèrent entre l'émetteur et le récepteur – et sont donc, a priori, perceptibles par l'auditeur.

C'est le constat de cette divergence de comportement entre sources acoustiques et électroacoustiques qui amène Pierre Boulez, en 1983, à développer ses idées sur le fait que « les instruments [...] sont passés au laminoir de l'amplification et perdent une part de leur individualité » et à formuler le constat que « le haut-parleur anonymise les sources réelles ». Il aboutit à cette époque à la conclusion que « [...] nous n'avons encore rien qui puisse vraiment remédier à cette caractéristique haut-parleur » [Boulez, 1983].

La recherche et le développement autour de la *Timée* s'inscrivent donc dans un axe d'étude qui s'intéresse à reproduire, à l'aide d'une source sonore artificielle – ou *virtuelle* –, les sons produits par des sources naturelles en respectant leurs caractéristiques de directivité, ou plus généralement en affectant une fonction de directivité donnée à la diffusion d'un signal sonore. Ce dispositif électroacoustique multi haut-parleurs à directivité contrôlable a ainsi pour objectif de simuler la présence d'une source en reproduisant le plus exactement possible le champ acoustique qu'elle produirait si elle se trouvait à la place même du dispositif. Pour cela, il existe principalement deux types d'approches théoriques :

- une approche dite "statique" qui part du principe que si le champ de pression acoustique sur une surface S entourant la source réelle est reproduite à l'identique par un système de substitution *ad-hoc*, alors la propagation, et donc le rayonnement, des deux systèmes au-delà de S seront en tout point identiques. Ce paradigme fait intervenir les notions de fonction 'cible' et de 'modèle' ainsi que les techniques d'approximation associées, permettant d'optimiser la configuration du modèle pour reproduire au mieux la cible (Figure 1). En l'occurrence, l'optimisation du modèle est le résultat d'un jeu de filtres assigné à l'ensemble de ses haut-parleurs et calculés en fonction d'une directivité donnée à reproduire. Le contrôle de la directivité est alors réalisé en alimentant le système multi haut-parleurs par un signal source (p. ex., un enregistrement de violon) et en imposant à chaque haut-parleur le filtre correspondant ; la méthode est statique dans la mesure où à chaque source correspond un jeu de filtres différents, le passage entre deux sources se faisant par interpolation de filtres.

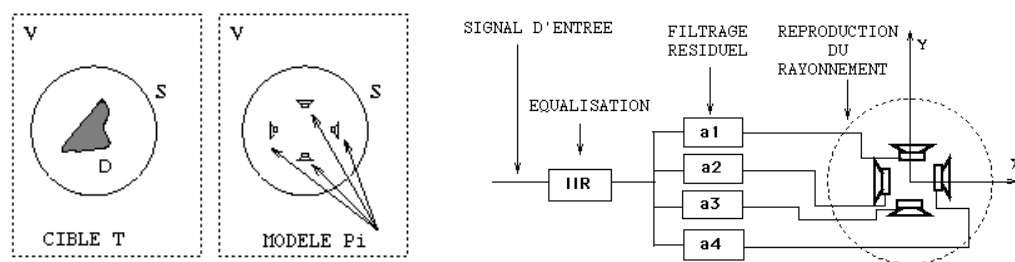


Figure 1. Description de l'approche "statique" de contrôle de la directivité. La source 'cible' est remplacée par un 'modèle' qui assure un rayonnement identique au delà d'une surface S (gauche). Le modèle est un système multi haut-parleurs auquel est assigné un jeu de filtres fixe, calculé en fonction d'une directivité à reproduire (droite).

- une approche dite "modale" qui part du principe que tout champ de pression acoustique peut être décomposé sur une base orthonormée, théoriquement infinie, de fonctions spatiales de directivité appelées *harmoniques sphériques*. En fait, ces fonctions représentent une famille de solutions de l'équation d'onde en coordonnées sphériques, et en tant que telles, permettent de décrire la propagation, et donc le rayonnement acoustique d'une source quelconque, par combinaison linéaire (infinie) des vecteurs de la base. Dans ce cas, la source multi haut-parleurs (modèle) est assignée à reproduire au mieux les vecteurs de base (harmoniques sphériques), et le contrôle de la directivité s'effectue suivant un paradigme de type analyse/synthèse additive (ou modale) : l'analyse consiste à décomposer la directivité cible sur la base des harmoniques sphériques, la synthèse consiste à utiliser les coefficients de cette décomposition pour déterminer la combinaison de filtres optimale à appliquer en amont de la source afin de reproduire au mieux la fonction de directivité cible (Figure 2). Cette méthode, de par son architecture spécifique, présente deux intérêts majeurs : gérer facilement la transition entre fonctions de directivité différentes (en interpolant des gains – coefficients de pondération – et non des filtres) et, à coût de calcul constant, permettre de traiter simultanément plusieurs directivités cibles [Misdariis et al., 2001].

Le système a été baptisé « *Timée* » (en référence à Platon) par François Nicolas, compositeur en résidence de recherche (2001) qui a notamment porté le projet vers des problématiques musicales et compositionnelles : « prendre l'instrument comme modèle », « renverser le rapport des sonorités électroacoustiques à l'espace en relocalisant leur source » et plus généralement « remettre sur ses pieds la dialectique en jeu dans les musiques "mixtes" entre instruments et haut-parleurs », c'est-à-dire, par

extension, repenser la relation et l'interaction entre sources acoustiques et sources électroniques dans une œuvre sonore [Nicolas, 2000] (nous illustrerons l'usage de ce principe dans un cadre extra-musical, plutôt orienté installation / design sonore, au § II.3.2 en présentant quelques réalisations effectuées avec ce dispositif).

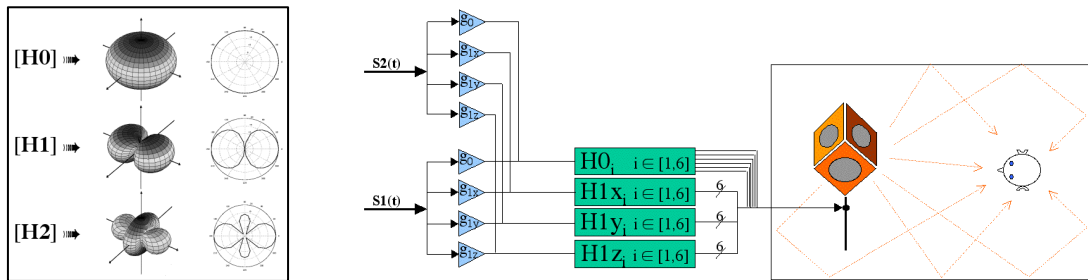


Figure 2. Description de l'approche "modale" de contrôle de la directivité. Le modèle reproduit au mieux les vecteurs de la base des harmoniques sphériques : monopole, dipôles et fonctions d'ordres supérieurs (gauche). La directivité cible est reproduite par pondération d'amplitude des vecteurs de base : une cible étant associée à un jeu de gains, plusieurs cibles peuvent être traitées simultanément (droite).

II.3 Productions d'études et d'œuvres

Dans le cadre des activités de l'équipe Design Sonore, le moteur de synthèse sonore par modélisation physique *Modalys* et le système de diffusion multi haut-parleurs à directivité contrôlée *Timée* permettent donc de mener des premières études (aide à la conception du son de la voiture électrique TULIP, étude du grailonnement d'une boîte de vitesses, conception de clignotants automobiles), ou de produire des premières œuvres (jardin de la Plaine-Mer du Mont St-Michel, Théâtre du Rond-Point des Champs-Élysées) dans le domaine spécifique du design sonore.

II.3.1 Premières études en design sonore

Instrumentation de TULIP

L'une des premières études s'est inscrite dans une thématique pionnière à l'époque – qui s'avère être aujourd'hui plus que d'actualité ! – en s'intéressant à la conception d'une signature sonore pour une voiture électrique, en l'occurrence un concept d'automobile urbaine partagée : la TULIP (Transport Urbain Libre et Public). Le projet d'ensemble, commandité par PSA - Peugeot Citroën, a été mis en oeuvre par Espaces Nouveaux (atelier de recherches acoustiques appliquées dirigé par Louis Dandrel – cf. § II.1) en collaboration avec un luthier (Sylvain Ravasse) et l'équipe Acoustique Instrumentale (Acl) de l'Ircam. Il incarne les prémices de l'intégration du design sonore à l'Ircam.

Le projet vise à prototyper une solution de design sonore pour TULIP, véhicule électrique, silencieux et à forte identité visuelle⁴⁷ [Noblet, 1996]. Le cahier des charges comprend une contrainte majeure, celle de n'utiliser que les principes fonctionnels naturels de l'objet (*i.e.*, pas d'électronique embarquée). Notre mission (équipe Acl) se définit en termes de modélisations informatiques et prototypage en sons de synthèse et implique l'exploitation de *Modalys*. Cet outil est employé comme un moyen d'assister et de prolonger le travail de conception effectué par L. Dandrel et celui de réalisation (facture) opéré par S. Ravasse. Dans cette optique, une maquette d'instrument – ou d'objet – acoustique est construite sur la base de chaque principe de production identifié comme compatible avec le fonctionnement du véhicule, puis modélisée grâce à l'outil informatique afin d'en explorer les possibilités sonores. Le passage de la maquette au modèle s'effectue à partir de l'enregistrement des sons produits par les objets réels, comparés avec les sons de synthèse produits par les modèles correspondants. Une fois cette validation confirmée, chaque mode de production (souffle, stridulation, friction, etc.) peut être exploré en termes de timbre grâce à la variation des paramètres physiques des modèles. Cette exploration aboutit à la définition d'une configuration idéale en termes de fonctionnalité (audible, localisable, dépendant de la vitesse, etc.) et d'esthétique / d'évocation (ludique, moderne, animalier). Grâce à la modélisation physique, cette solution peut ensuite être retraduite en prototype tangible (p. ex., *via* une modification de la maquette initiale) pour être, finalement, implémentée sur le véhicule.

⁴⁷ <http://proto-design-peugeot.wifeo.com/tulip.php>

Ainsi, parmi les principes de production acoustique compatibles avec les éléments dynamiques de la voiture, nous avons notamment modélisé :

→ la friction d'un résonateur en rotation, de type bol tibétain ou bien harmonica de verre (Figure 3). Dans ce cas, l'utilisation de *Modalys* a nécessité de générer les données modales d'un objet simulant le comportement vibratoire de ce type de résonateur. En s'appuyant sur la théorie [Timoshenko et al., 1959 ; Rossing, 1994], un modèle approximé de cylindre vibrant est intégré dans l'environnement *Modalys*, grâce au calcul de ses données modales, puis mis en mouvement par une excitation de type frottement, semblable à celle régissant l'interaction archet-corde.

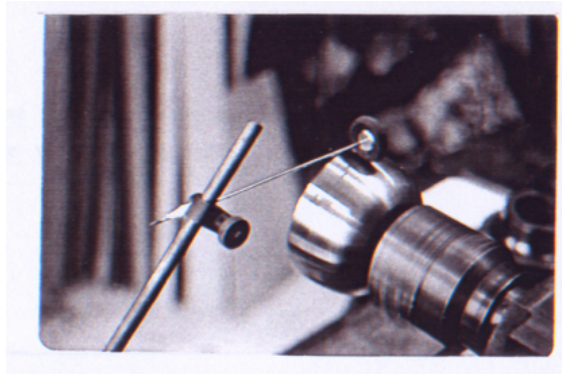


Figure 3. Prototype d'étude de la friction d'un résonateur en rotation : modèle du "bol tibétain" (Crédit : S. Ravasse)

→ l'écoulement dans un tube acoustique à section variable, de type tuyau d'orgue (Figure 4). L'alimentation en air étant assurée par un système de type "roue à aubes" solidaire de la roue et qui présente l'atout majeur d'être dynamique c'est-à-dire en relation directe avec l'allure de la voiture – les variations de vitesse se traduisant au niveau perceptif par une modulation d'amplitude, de hauteur et de timbre. La maquette du dispositif est construite et permet de constater que le dispositif émet un son puissant, directif, avec une tonalité très marquée ce qui apparaît comme un obstacle au design sonore de l'objet. La recherche de modes de jeu multiphoniques du tuyau semble alors être la réponse à la question : quelle modification à apporter au tuyau pour qu'il produise un son plus coloré ? L'utilisation conjointe de *Modalys* et de *Resonans*⁴⁸ qui calcule la fréquence et l'amplitude des modes du tube à partir de ses données géométriques et structurelles, permet d'accorder le tube à la hauteur et au timbre de son voulu.

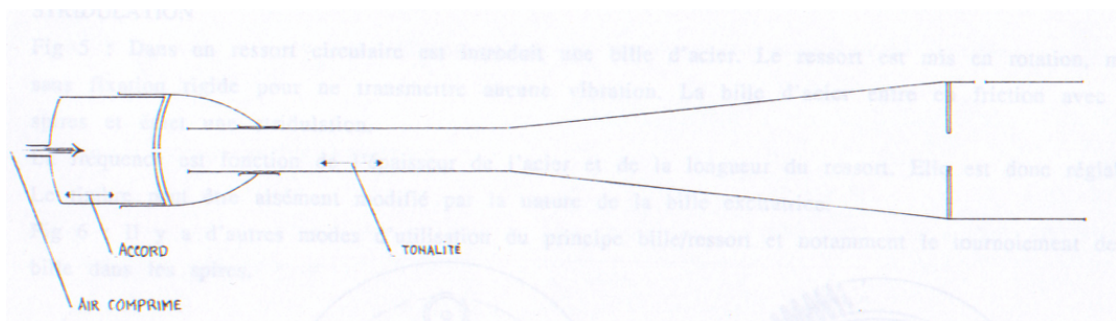


Figure 4. Prototype d'étude de l'écoulement d'air dans un tuyau à section variable : modèle du "tuyau d'orgue" (Crédit : S. Ravasse)

Etude du grailonnement

La seconde étude pionnière a été menée en association avec le laboratoire de Mécanique Vibratoire et d'Acoustique (LMVA) de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers (Ensam) pour tenter d'analyser, de modéliser, de prédire et d'évaluer perceptivement le bruit de grailonnement – phénomène provoqué par des chocs mécaniques au sein d'une boîte de vitesses automobile. L'objectif à atteindre était de prédire l'influence des paramètres physiques responsables du grailonnement sur le désagrément ressenti par l'usager. Ce travail a exploité l'outil *Modalys* et a fourni l'une des premières

⁴⁸ *Resonans*, logiciel d'aide à la conception d'instruments à vent. Développé au LAUM en collaboration avec l'IRCAM

occasions de faire le lien entre le moteur de synthèse sonore et un code d'éléments finis (Castem⁴⁹) afin d'étendre l'environnement logiciel à une simulation sonore d'objets complexes. La réflexion et le travail se sont déployés sur deux projets de fin d'études d'ingénieur successifs (Aurélie Boudier/Yoann Flavignard, 2001 ; François Desmales/Etienne Pouvreau, 2002), selon trois grandes étapes :

- l'analyse et la modélisation des différents éléments de la boîte de vitesses intervenant dans le grailonnement. En effet, pour chaque rapport de boîte, le phénomène résulte d'un choc alternatif entre les dents de deux pignons, l'un solidaire de l'arbre primaire (provenant de l'arbre moteur) et l'autre dit "fou", axé sur l'arbre secondaire (transmettant la puissance aux roues du véhicule). Il est essentiellement dû au mauvais filtrage de l'acyclisme moteur au niveau de l'embrayage et est généralement amplifié par les modes de résonance de la chaîne de transmission complète. Partant de là, une analyse modale est effectuée sur ces éléments principaux (arbre, engrenage) soit par la mesure (à partir d'un banc d'essai de laboratoire), soit par la simulation (grâce au code de calcul par éléments finis – la mesure ayant pour fonction principale de valider la simulation. Les données vibro-acoustiques de l'arbre primaire et d'un pignon fou sont ainsi obtenues suivant le formalisme modal (fréquences amortissement, déformées) compatible avec le logiciel *Modalys* (Figure 5). Dans un souci de précision, l'interaction entre l'arbre et le pignon a également été mesurée et modélisée au moyen d'une fonction *ad-hoc*, dérivée d'une fonction de base et permettant de mieux simuler la nature du choc mécanique intervenant dans le grailonnement.

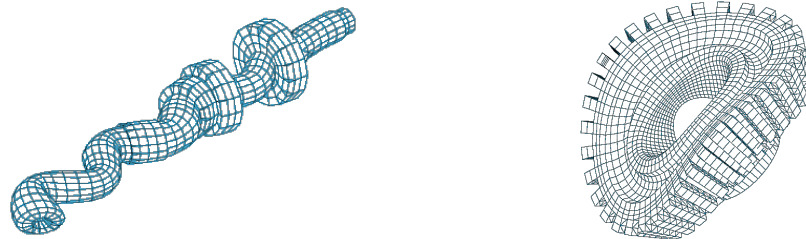


Figure 5. Modélisation par éléments finis de composantes d'une boîte de vitesses intervenant dans le grailonnement. Mode de flexion de l'arbre primaire (gauche). Mode de torsion d'un pignon 'fou' relié à l'arbre secondaire (droite).

- la synthèse sonore du grailonnement par intégration des données numériques dans l'environnement *Modalys*. Cette intégration a, en premier lieu, consisté à modifier (manuellement) les données modales de structures existantes, à partir des données issues de la modélisation par éléments finis. Elle a ensuite offert plusieurs options de modélisation – notamment relatives à la fonction d'excitation ou au point d'écoute – aboutissant à un ensemble de modèles paramétriques. La validité de ces modèles a été assurée au moyen d'un test perceptif en prenant pour référence un son réel de grailonnement. Pour la suite de l'étude, la sélection du 'meilleur' d'entre eux a été réalisée dans le cadre de ce protocole expérimental.

- l'étude de l'influence de paramètres physiques du modèle sur la gêne ressentie par le conducteur. A partir du modèle sélectionné, des tests perceptifs ont été menés afin d'étudier l'influence du matériau sur le grailonnement et sa gêne associée. Des modèles d'arbre et d'engrenage ont été calculés avec trois matériaux différents – et mécaniquement pertinents : acier, aluminium, titane. Les sons de synthèse ainsi produits ont servi de base à des études perceptives qui mettent en évidence la discrimination des modèles en termes de timbre et qui déterminent, *in fine*, la préférence des usagers.

Cette approche ouvre la voie à la prise en compte de la dimension sonore et de l'humain dans l'optimisation de la conception d'un objet industriel au moyen d'un environnement de synthèse/design sonore assisté par ordinateur.

Conception de clignotants innovants

Une troisième étude pionnière a été réalisée dans le cadre d'un contrat d'étude avec la Direction de la Recherche (pôle Acoustique / Perception) du constructeur automobile Renault et a concerné l'une des interfaces homme-machine les plus traditionnelles dans ce domaine : le clignotant. Sur la base d'une étude préliminaire interne mettant notamment en évidence le fort potentiel d'évocation et d'innovation de ce type de signal, un travail de design sonore a été effectué selon un cahier des charges à deux entrées principales : d'un côté, le respect des réglementations (niveau sonore, cadence, ...) et des contraintes (fonctionnalité, agrément, ...) existantes, et d'un autre côté, une inspiration de type « multi-sensorielle » poussant à explorer des sonorités nouvelles associées à des matériaux (bois, plastique, métal, verre, ...) ou correspondant à une typologie d'évocations liées au produit (rond, cristallin, dense, racé, ...). *Modalys* a ici

⁴⁹ <http://www-cast3m.cea.fr/index.php?xml=presentation>

servi d'outil de formalisation d'idées – notamment par rapport à la problématique du matériau – et d'exploration de timbres inouïs grâce à la capacité de la synthèse par modélisation physique de dépasser les limites d'une expérimentation et d'une production sonores conventionnelles. [Langlois et al., 2005].

En effet, pour concevoir ces nouveaux sons de clignotant *synthétiques* – généralement diffusés par des haut-parleurs de type 'buzzer' –, nous avons mis en œuvre un paradigme de conception (design) sonore d'un genre fondamentalement nouveau : là où l'usage courant aurait nécessité un matériau sonore initial (échantillons), un environnement de type station de montage audionumérique (séquenceur) et une série de fonctions d'effet et de transformation (filtrage, compression, inversion, etc.), nous sommes revenus à la 'naturalité' du son lui-même – issue des contacts d'un relais électromécanique – et avons physiquement modélisé ce processus dans l'environnement *Modalys* – une interaction cyclique entre un excitateur et un résonateur. Dès lors, toute l'exploration sonore a consisté, d'une part à définir la nature des modèles en fonction des évocations ciblées, et d'autre part, à rechercher et produire la matière sonore en jouant sur les propriétés mécaniques et géométriques des structures et de leurs connexions ; le séquençage du clignotant étant, quant à lui, assuré par le fonctionnement intrinsèque du modèle.

En résumé, et en reprenant la terminologie de Schafer [Schafer, 2010], dans cette étude, nous sommes ainsi passés d'un mécanisme originel « naturel » (le relais) à son représentant « artificiel » (le buzzer) pour aboutir à une réalité 'virtuelle' (le modèle) en rapport avec la physicalité initiale du phénomène.

II.3.2 Premières œuvres en design sonore

Les applications du contrôle de la directivité couvrent les domaines de la diffusion en concert ou dans des installations sonores, de la sonorisation fonctionnelle d'un espace (p. ex., un musée), en allant jusqu'à des systèmes industriels de type *public-adress*. Plus précisément, ce principe peut être exploité dans différentes situations : la sonorisation d'œuvres musicales *mixtes* associant parties instrumentales et électroniques afin d'homogénéiser le rayonnement des sources électroacoustiques avec celui des instruments [Misdariis et al., 2002a] ; l'amplification d'instruments de musique afin de matérialiser le rayonnement d'un instrument donné ; l'optimisation des haut-parleurs afin de moduler la couverture sonore de l'auditoire et de limiter les risques d'effet Larsen ; la génération de *rayons acoustiques* pour renforcer l'audibilité d'un message (intelligibilité) ou bien accroître la sécurité ou le confort d'écoute.

Sur cette base, dans le champ spécifique des installations et du design sonores d'espace, le dispositif *Timée* a pu être expérimenté à deux reprises :

- dans un jardin semi-clos de l'Abbaye du Mont Saint-Michel (façade maritime), où une installation sonore comprenant deux dispositifs de diffusion à directivité contrôlable (*Timée* – ici appelé *Cube*) et deux systèmes stéréophoniques traditionnelles ont permis de jouer une œuvre électroacoustique spatialisée (« Le Jardin de la Plaine Mer ») composée pour l'occasion par Louis Dandrel, assisté d'Emmanuel Deruty⁵⁰. L'écriture spatiale utilise la directivité pour créer des effets sonores tels que la rotation d'un faisceau sonore (par analogie au phare), ou bien des points de réflexion sur les murs qui entourent partiellement l'espace.
- dans le hall d'accueil du théâtre du Rond-Point des Champs-Élysées qui a utilisé le principe du contrôle de la directivité pour effectuer ses annonces fonctionnelles (informations, début de spectacle, etc.). Dans ce cas, le système *Timée* génère des faisceaux sonores qui renforcent l'audibilité du message en minimisant les réflexions secondaires sur les parois du hall. Cette approche peut également être appliquée dans un cadre de dispositif muséographique lorsqu'il s'agit de créer des zones d'écoutes privilégiées et sectorisées (type "douche sonore").

⁵⁰ http://data.bnf.fr/15049181/louis_dandrel_le_jardin_de_la_plaine-mer/

III. Méthodologie et recherche en design sonore

Depuis plus de 15 ans maintenant, la recherche en design sonore a commencé à émerger et se structurer, au moins en Europe, au sein de la communauté scientifique. Elle s'incarne dans une série de projets de grande envergure qui s'articulent de manière cohérente et tracent une ligne directrice vers une meilleure définition et intégration des principes et pratiques du design sonore dans les sciences du son, la technologie et les arts [Rocchesso, 2014]. On peut citer principalement : *The Sounding Object* (SOB, 2001-03)⁵¹, centré sur l'utilisation de la synthèse sonore en situation interactive ; *Sound to Sense, Sense to Sound* (S2S², 2004-07), visant la définition d'une feuille de route de la recherche européenne dans le domaine de l'informatique musicale et sonore ; *Closing the Loop of Sound Evaluation and Design* (CLOSED, 2006-09)⁵², porté notamment par des questions de prototypage et d'évaluation du son ; *Sonic Interaction Design* (SID, 2007-11), visant la définition d'un cadre pour le design d'interaction sonore ; *Sketching Audio Technologies with Vocalisations and Gestures* (SkAT-VG, 2014-16), explorant la problématique de l'esquisse sonore (cf. § IV.1.2.b&d) – voir [Rocchesso, 2014] pour une description plus détaillée. L'une de ces actions (S2S²) a d'ailleurs contribué à la constitution d'une communauté spécifique (SMC – *Sound and Music Computing*) qui s'est développée à côté de celles historiquement établies (notamment ICMC, DAFx ou ICAD), et en parallèle de nouvelles initiatives plus récentes (comme par exemple, AudioMostly, xCoAx, etc.). Cette ligne de recherche a, en outre, fait l'objet, de quelques ouvrages de référence dont le plus récent, « *Sonic Interaction Design* » [Franinovic et Serafin, 2013], recense à la fois les thématiques émergentes et structurantes du domaine (Partie 1), mais aussi une série d'exemples d'applications emblématiques (Partie 2).

Progressivement intégré dans ce mouvement, le design sonore à l'Ircam évolue, en 2005, sur la base d'un projet original qui associe recherches en perception sonore et applications en design sonore. La nouvelle équipe – Perception et Design Sonores – met en place une méthodologie issue d'un modèle de conception en trois phases (analyse, création, validation) qu'elle applique à des travaux de recherche et développement dans plusieurs champs du design sonore en associant généralement à son *savoir scientifique*, le *savoir-faire* d'un compositeur / designer sonore (§ III.2).

Cette démarche sert également de base à des actions pédagogiques telles que les formations professionnelles annuelles en design sonore de l'Ircam et, plus récemment, les interventions à l'Ecole Centrale de Nantes (Dept IPSI – Ingénierie des Produits et Systèmes Industriels / filière "perception et design sonore") ou bien les cours et travaux dirigés organisés avec le compositeur Andrea Cera, à l'Ard&nt Institute (Accademia di Belle Arte di Brera, Politecnico di Milano). Elle est aussi à l'origine de notre contribution – conjointe avec l'Ecole Nationale Supérieure de Création Industrielle (ENSCI) et le Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM) – à l'élaboration du programme pédagogique du DNSEP Design Sonore de l'Ecole Supérieure d'Art et de Design du Mans (ESAD TALM, Le Mans – anciennement ESBAM), puis par la suite, à une partie de son enseignement et de son encadrement, notamment pour un important *workshop applicatif* réunissant, chaque année, étudiants en design et en design sonore sur un cas d'étude réel proposé par un industriel (voir § III.2.3).

III.1 Présentation

L'équipe Perception et Design Sonores (PDS) se construit en fusionnant deux thématiques portées initialement par deux équipes différentes de l'Ircam : la perception et la cognition musicales (PCM, dirigée par Steve McAdams) et le Design Sonore (DS, dirigée par Louis Dandrel). Cette nouvelle équipe – initiée et dirigée par Patrick Susini – a pour vocation d'articuler ses travaux entre une composante fondamentale de recherche en perception sonore et une composante applicative en design sonore. L'acquisition des connaissances en perception sonore est effectuée à travers l'étude des mécanismes perceptifs (description, identification, classification) et cognitifs (apprentissage, mémoire, émotions) relatifs aux sons environnementaux, c'est-à-dire tous les sons du quotidien autres que la parole et la musique (voir § II.1) [Gygi, 2001]. Les applications en design sonore se développent dans le champ des objets manufacturés ou des espaces, en s'étendant aux interfaces homme-machine et au paradigme de la sonification. En outre,

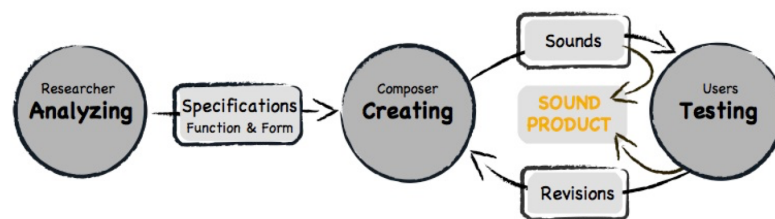
⁵¹ <http://www.soundobject.org>

⁵² <http://closed.ircam.fr>

l'intérêt se porte progressivement sur le design sonore d'interaction qui étudie la question du retour sonore (*audio feedback*) et plus généralement le rôle du son dans un contexte interactif (cf. projet SID).

Cette articulation définit une approche de recherche originale qui s'appuie sur la formalisation d'une méthodologie inspirée du modèle de conception décrit par Danielle Quarante [Quarante, 1994] et qui s'explicité par un processus en trois phases successives et localement bouclées [Susini et al., 2014] (Figure 6) :

1. l'**analyse** examine le problème posé en termes d'état de l'art et d'état des lieux, construit un corpus de travail et d'observation afin de réaliser des expérimentations pour vérifier des hypothèses et comprendre les mécanismes perceptifs et cognitifs mis en jeu. L'issue de cette phase est l'élaboration d'un cahier des charges donnant des directives de création susceptibles de répondre au mieux au problème posé ;
2. la **création** part de ce cahier des charges scientifique, l'intègre à d'autres spécifications ou contraintes (techniques, économiques, etc.) et produit des solutions sonores ;
3. l'**évaluation** quantifie expérimentalement la capacité de ces solutions à répondre au cahier des charges initial et, le cas échéant, reboucle sur la phase précédente (*création*) afin d'améliorer les propositions.



(c) Sound design and Perception group - <http://pds.ircam.fr>

Figure 6. Méthode de conception originale en 3 phases successives localement bouclées, développée par l'équipe Perception et Design Sonores de l'Ircam.

En outre, et selon les termes d'Otto Laske (cité par Schafer [Schafer, 1977]), cette méthodologie intègre de facto l'association du *savoir-faire* artistique (dans la phase de création) et du *savoir* scientifique et technologique (dans les phases d'analyse et d'évaluation, mais potentiellement aussi, en support technique, dans la phase de création). Elle nécessite des connaissances scientifiques dans diverses disciplines (acoustique, traitement du signal, psychologie expérimentale, perception, etc.) ainsi que des expertises musicales et sonores (écoute, prise de son, composition, arrangement, musicologie, MAO, etc.) portées essentiellement par le compositeur considéré, dans ce cas, comme un "homme de l'art du son".

Enfin, le couplage entre recherche et application permet de confronter les principes de l'équipe à des contextes réels et, le cas échéant, de porter un regard critique sur les méthodes mises en œuvre. Il remplace aussi clairement ses activités dans une problématique d'articulation art-science et va même au-delà en déployant, à chaque fois de manière singulière, un triptyque art-science-industrie qui ramène à l'essence même du design (cf. § I.1). Dans certains cas, cette articulation peut également avoir un impact societal important, ce qui rapproche les travaux en design sonore ainsi menés de l'objectif général du design, selon Alain Findeli : « maintenir ou améliorer l'habitabilité du monde » [Findeli, 2010] (voir § I.2).

III.2 Travaux de recherche et développement

Les travaux de recherche et de développement menés au sein de l'équipe Perception et Design Sonores (PDS) s'effectuent donc dans le cadre d'une démarche scientifique articulant recherches en perception sonore et applications en design sonore. Ils s'implémentent suivant plusieurs modalités : travaux académiques (§ III.2.1), projets de recherche et développement industriels (§ III.2.2) ou actions pédagogiques (§ III.2.3). Par ailleurs, ils se déploient dans les différents champs d'application du design sonore (cf. § I.1) : objet manufacturé (produit), objet numérique (interface), objet spatial (environnement). La suite de cette section (§ III.2.1 à III.2.3) présente une **sélection des travaux** – contexte, méthodologie et principaux résultats – **auxquels j'ai pris part** directement ou indirectement (mise en œuvre / suivi de projet, collaboration scientifique, encadrement de thèse ou stage) depuis la constitution de l'équipe PDS ; elle ne représente donc qu'une partie de sa production scientifique globale et de ses projets appliqués.

III.2.1 Travaux académiques

Dans ce cadre, les travaux académiques se focalisent sur les mécanismes de perception et de description, d'une part, des environnements sonores (§ III.2.1.a), et d'autre part, des objets sonores (§ III.2.1.b). Ils s'étendent également au domaine des interfaces numériques (§ III.2.1.c) à la fois en termes d'ergonomie (interface perceptive de la synthèse sonore), mais aussi en termes d'*auditory display*, et plus particulièrement d'alarmes sonores.

III.2.1.a Perception et description de l'environnement sonore

Description d'une scène sonore idéale/non idéale

Les travaux de Grégoire Lafay étudient la perception des environnements sonores, plus particulièrement urbains. Ils proposent d'identifier et de caractériser des classes de sources rencontrées dans ce contexte et de sonder leur perception globale – c'est-à-dire intégrée dans la grande forme de la scène –, par un paradigme original de synthèse qui se démarque des approches traditionnelles utilisées en psychologie cognitive. En effet, à l'inverse des méthodes de description et d'analyse lexicales – voire graphiques [Maffiolo, 1999] – généralement mises en oeuvre *via* des protocoles expérimentaux de type verbalisation libre, catégorisation par similarité perceptive ou jugement sur des échelles sémantiques, Lafay propose une méthode de construction et de synthèse de l'objet d'étude même (la scène sonore) à partir d'une base de données 'source' constituée d'éléments simples et structurés suivant une typologie implicite (i.e., non étiquetée explicitement) issus d'une analyse *a priori* des paysages sonores urbains. De fait, la méthode présente deux spécificités principales : d'une part, favoriser les processus cognitifs descendants (*top-down*) plutôt qu'ascendants (*bottom-up*) dans la restitution de la « représentation du monde » sonore de l'auditeur, et d'autre part, s'affranchir autant que possible du biais sémantique induit par le langage dans la description des sons [Lafay, 2016].

Sur cette base, l'étude développe un environnement technologique original comprenant deux éléments principaux et complémentaires :

- *SpeedSoundFinding (SSF)*, un outil d'exploration "en aveugle" d'une base de données sonores qui vise à permettre la connaissance rapide de son contenu et la recherche parmi ses éléments sans faire appel à une requête par mots-clés. La base de données est constituée d'échantillons sonores urbains (issues de prises de son spécifiques ou de collections pré-existantes) et réalise une première distinction entre « textures » et « évènements », selon un schéma habituel [Maffiolo, 1999 ; Nelken et de Cheveigné, 2013]. Les textures sonores sont classées suivant la morphologie et le type de lieux dont elles sont extraites (p. ex., nature, brouhaha, circulation, etc.). Les évènements sonores sont organisés suivant une typologie de sources et sur un mode hiérarchique, conformément à la théorie des catégories d'Eleanor Rosch [Rosch et Lloyd, 1978]. Les trois niveaux de représentation – analogues aux niveaux de Rosch : « superordonné », « basique » et « subordonné » – sont respectivement associés à un prototype sonore correspondant au type et à la profondeur de classe (p. ex. : trafic / camion / camion au démarrage). L'ensemble est présenté sous la forme d'une interface graphique interactive (l'arborescence hiérarchique se révèle à mesure que les classes sont sélectionnées) et sonore (la sélection d'une classe fait entendre son prototype associé). Les objectifs de *SSF* sont validés par la mesure expérimentale de la durée, l'efficacité et la sélectivité d'une recherche, ainsi qu'en observant les mécanismes d'apprentissage qu'il induit [Lafay et al., 2016].

- *simScene*, un séquenceur audio numérique de synthèse paramétrique de scènes sonores qui permet la construction de scènes sonores sur la base de classes élémentaires de type « textures » et « évènements » sonores. Ce moteur de synthèse est donc naturellement couplé à l'application *SSF* détaillée au paragraphe précédent. Comme pour un séquenceur traditionnel, chaque instance d'une classe (*sample*) correspond à une piste de lecture (*track*) et est disposé sur un axe temporel (*timeline*) définissant sa position dans la scène sonore finale résultant du mixage de l'ensemble des pistes. Les paramètres principaux de mixage sont, pour chaque piste, le niveau sonore, la position, le temps d'apparition/extinction et la périodicité des évènements, et le cas échéant, des textures. L'intérêt expérimental de cette application réside principalement dans le fait de pouvoir récupérer ces données numériques, ainsi que des informations d'ordre sémantique relatives à la nature des classes sélectionnées afin d'étudier finement la perception et la représentation mentale des scènes sonores urbaines [Lafay et al., 2018 ; Rossignol et al., 2015].

Ce cadre de travail a précisément été utilisé pour étudier des stéréotypes d'environnement sonore tels que des scènes sonores idéales / non idéales, ou bien calmes / bruyantes. L'aspect paramétrique du séquenceur permet de quantifier le rôle des sources principales dans ces dimensions perceptives de haut niveau, autant qualitativement (types de sources) que quantitativement (densité, intensité, rythmicité, ... des sources). Une démarche expérimentale de grande ampleur – exploitant le fait que les applications

simScene et *SSF* utilisent l'environnement de programmation du Web Audio⁵³ et peuvent donc supporter des expériences en parallèle, voire en ligne – a ainsi notamment abouti à l'identification objective de « marqueurs sonores » (en référence à la terminologie de Schafer [Schafer, 2010]) pour des configurations idéales et non idéales de scènes sonores : respectivement la cloche d'église, le chant d'oiseau, la sonnette de vélo, ou bien au contraire, le klaxon et la sirène. Ces résultats sont globalement en accord avec d'autres études traitant cette question au moyen de paradigmes plus traditionnels [Guastavino, 2006]). De plus, l'exploitation des données numériques a permis de montrer que l'agrément d'un environnement idéal est corrélé avec le niveau de ses marqueurs sonores positifs, alors que le désagrément – ou la gêne – d'un environnement non idéal augmente avec le niveau global de la scène [Lafay, 2016]. Tous ces éléments de connaissance peuvent, à terme, informer objectivement l'aménagement – ou le design – d'un espace.

Perception de la gêne d'une scène sonore urbaine

Les travaux de Raphaël Leiba étudient la notion de gêne sonore et s'inscrivent dans le cadre d'une Chaire de Recherche dédiée à la qualité de vie en milieu urbain (Mouvie⁵⁴). Ils visent à développer un outil de diagnostic de ce percept, en considérant, dans un premier temps, l'une des sources principales de gêne que sont les véhicules routiers [Misdariis et al., 2014a]. Ce travail s'appuie sur une méthodologie comportant trois étapes principales : la mesure, la classification et la modélisation [Leiba, 2017 ; Leiba et al., 2017 ; 2016].

- La mesure s'effectue au moyen d'un dispositif technologique original, massivement multi-microphoniques (*megaMicros*) qui, associé à une captation visuelle de la scène, permet d'effectuer de la séparation (*beamforming*) et de la localisation (*tracking*) de sources. La séparation des sources (ici, des véhicules) utilise une méthode fréquentielle de formation de voies qui permet d'estimer le spectre complexe provenant d'un point de l'espace [Vanwynsberghe, 2016] – le signal audio étant ensuite reconstruit par transformée de Fourier inverse du spectre estimé. Les antennes microphoniques, couplées avec la technique de formation de voies, permettent de filtrer spatialement chaque véhicule et d'extraire son signal audio avec une dynamique moyenne de 20 dB. Une campagne expérimentale (sur piste d'essai) a permis de mettre au point l'extraction du signal audio de sources mobiles. Une seconde campagne de mesure *in situ* a ensuite prouvé l'efficacité et la robustesse du dispositif en montrant la différence entre un signal microphonique réel simple (qui ne distingue pas les différentes sources de bruit) et le signal reconstruit au niveau du véhicule qui filtre efficacement les sources environnantes pour ne garder que le son provenant de la source principale (Figure 7).

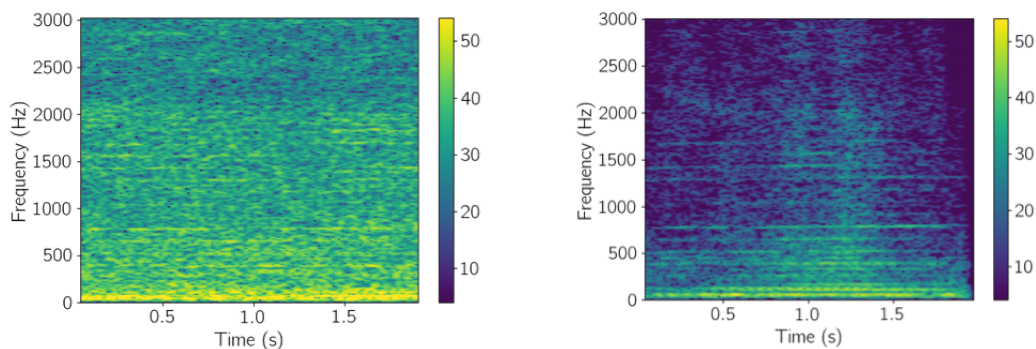


Figure 7. Utilisation de l'antenne *megaMicros* pour l'extraction de sources sonores d'une scène complexe. Spectrogrammes de la scène sonore mesurée par un microphone de référence (gauche), et du signal audio reconstruit par la méthode de formation de voies au voisinage d'un 2-roues (droite)

- La classification utilise, à partir de ces données, un algorithme d'apprentissage machine basé sur des descripteurs audio et un traitement d'images. Il permet de différencier chacune des sources selon des catégories perceptives préalablement établies en fonction du type du véhicule (voiture, camion, deux roues) et de son allure (vitesse constante, accélération, décélération) [Morel, et al., 2012]. Le signal audio du véhicule et l'information d'allure obtenue par l'analyse des images issues d'une caméra sont exploités pour réaliser cette classification. Les coefficients cepstraux en échelle de Mels (MFCC) sont utilisés comme descripteurs audio pour extraire les caractéristiques du signal [Aucouturier et al., 2007]. Couplés à l'information d'allure obtenue grâce au suivi de la trajectoire, les MFCC alimentent un classifieur de type

⁵³ <http://www.w3.org/TR/webaudio/>

⁵⁴ <http://www.mouvie.upmc.fr/fr/index.html>

'machine à vecteurs de support' (SVM). Moyennant une phase d'optimisation de la description (sélection et pondération des MFCC) et de l'apprentissage, ce protocole de classification donne finalement de bons résultats (erreur globale d'environ 5% – dépendant de la classe), même en contexte réel.

- La modélisation concerne la gêne ressentie par les riverains et s'implémente grâce à un modèle de gêne spécifique à chaque catégorie, construit à partir de descripteurs énergétiques mais surtout d'indicateurs psycho-acoustiques tels que la rugosité ou la sonie plus proches de la réalité perceptive du phénomène [Morel, et al., 2016]. La comparaison entre niveaux sonores mesurés et niveaux de gêne modélisés montre en effet une distorsion des écarts relatifs entre catégories (Figure 8). Par exemple, un niveau sonore important pour un véhicule lourd en accélération (catégorie 7) induit une estimation de la gêne sonore relativement faible. De plus, l'écart-type des valeurs de gêne est très faible, comparé à la plus grande variabilité des niveaux équivalents mesurés (p. ex, pour la catégorie 5).

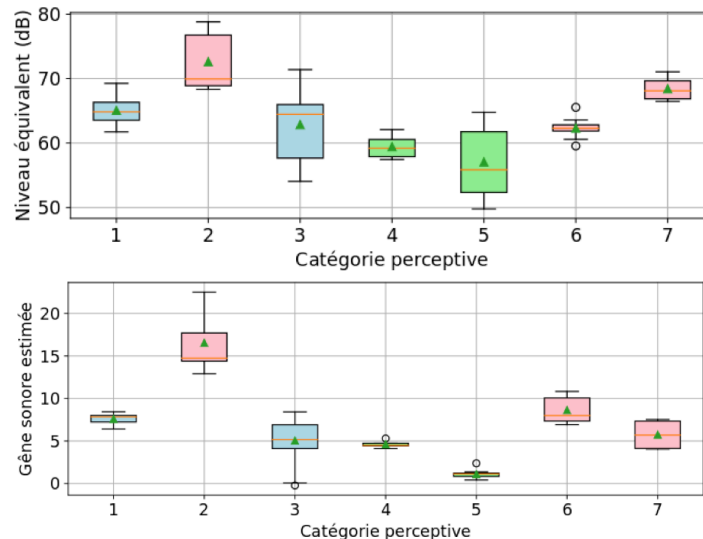


Figure 8. Modélisation de la gêne sonore : niveau sonore (haut) et gêne estimée (bas) en fonction des catégories perceptives [Morel et al., 2012], pour des véhicules seuls (essai sur piste). Cat.1 : 2-roues, vitesse constante ; Cat.2 : 2-roues, accélération ; Cat.3 : véhicule léger/lourd, vitesse constante ; Cat.4 : 2-roues, décélération ; Cat.5 : véhicule léger/lourd, décélération ; Cat.6 : véhicule léger, accélération ; Cat.7 : véhicule lourd, accélération.

La méthode globale, testée dans un premier temps sur piste d'essai, a pu être déployée en contexte réel par des mesures de gêne spécifique à chaque véhicule, estimée de manière automatique sur des données obtenues en milieu urbain (Quai St-Bernard, Paris). Des questions de recherche et de méthode restent néanmoins encore à approfondir comme la définition d'une gêne globale (à partir de la connaissance des gênes spécifiques) ou la validation expérimentale des modèles perceptifs (travail en cours avec, notamment le stage de Lucie Marignier (2018)). L'ambition, à terme, de cette étude est de caractériser plus finement la gêne sonore et d'aboutir à des cartes de bruit perceptives, plus proches du ressenti que celles utilisées actuellement, qui reposent sur des indicateurs très globaux de type L_{eq} (niveau équivalent) ou L_{den} (niveau de jour/soirée/nuit).

Perception de l'intensité d'une scène sonore complexe

Toujours dans le cadre de la Chaire Mouvie, les travaux de R. Leiba sont associés à ceux de Michael Vannier qui étudient plus particulièrement l'un des indicateurs psycho-acoustiques utilisé dans les modèles de gêne : la sonie, ou intensité sonore perçue. Leur objectif est de comprendre comment ce percept est intégré dans le cas de scènes sonores complexes, multi-sources, et comment, le cas échéant, des influences mutuelles *inter-sources* s'opèrent dans un jugement de sonie globale.

Autrement dit, la problématique générale de l'étude s'inscrit dans la compréhension du rôle des processus de groupement auditif dans l'évaluation de la sonie globale d'une scène composée d'objets sonores simultanés (scène complexe). Son enjeu est de répondre à trois questions principales : 1. La sonie d'un objet sonore dans une scène (sonie partielle) est-elle influencée par la présence d'un autre objet sonore ? 2. Comment la sonie partielle des objets sonores d'une scène complexe est-elle combinée dans un percept de sonie globale ? 3. La sonie globale d'une scène dépend-t-elle de son organisation perceptive (un ou plusieurs objets) ? (Figure 9)

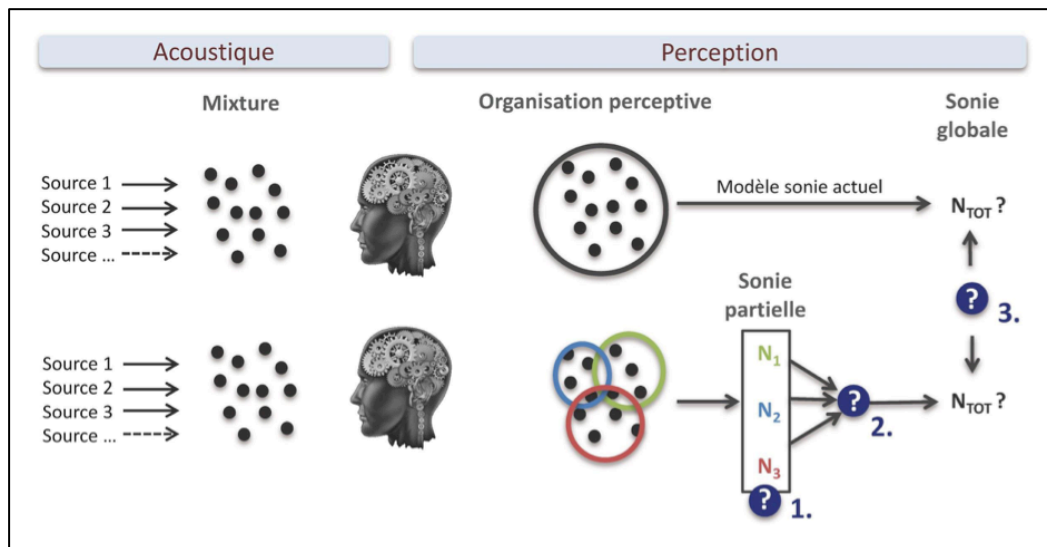


Figure 9. Illustration de la problématique du percept de sonie multi-sources (M. Vannier) et des 3 questions de recherche posées : 1. sonie partielle ; 2. sonie globale ; 3. relation sonie globale / analyse de scène auditive.

Pour cela, deux expériences principales sont menées : la première s'intéresse à la sonie d'une scène composée de un ou deux objets sonores préalablement égalisés en sonie (exp. 1), et la seconde s'intéresse à une scène composée de un ou deux objets sonores présentant des différences de sonie contrôlées (exp. 2); les conditions de groupement (1 objet) ou de ségrégation (2 objets) étant réalisées à partir de principes d'Analyse de Scènes Auditives (ASA) [Bregman, 1994]. Ces deux expériences mettent en oeuvre des stimuli simples, facilement contrôlables du point de vue de la perception, mais néanmoins inspirés de sons environnementaux pertinents (sons de moteur) vis-à-vis du champ d'application de cette recherche (milieu urbain / bruit des transports). La complexité des scènes sonores en termes de nombre d'objets la constituant est contrôlée expérimentalement par une technique de modulation de fréquence (FM) qui, selon un principe d'ASA, permet de créer des variations congruentes ou incohérentes entre les composantes d'une série harmonique [Vannier et al., 2018].

- L'exp. 1 met en oeuvre des scènes sonores construites à partir de séries harmoniques de 6 partiels (100 Hz à 600 Hz) décomposées en partiels pairs et impairs ("grave" / "aigu"). Ces deux sous-groupes de partiels sont modulés en fréquence selon 2 valeurs ("lent" / "rapide"), de manière congruente ou incongruente donnant lieu à 2 percepts différents et 4 modalités : 1 objet (lent ou rapide), 2 objets (grave-lent et aigu-rapide ou grave-rapide et aigu-lent). Par ailleurs, pour cette expérience, tous les stimuli sont préalablement égalisés en sonie à partir d'une référence (bruit blanc à bande étroite correspondant à la bande passante des stimuli). Les tâches principales de l'exp. 1 consistent en un jugement de sonie partielle et globale des scènes, par rapport au son de référence utilisé pour l'égalisation en sonie.

- L'exp. 2 met en oeuvre le même type de stimuli mais en simplifiant à la fois leur structure (uniquement 2 partiels : grave (200 Hz) / aigu (600 Hz)) et leur combinatoire (uniquement 2 modalités : 1 objet (lent), 2 objets (grave-lent et aigu-rapide)). Pour cette expérience, une troisième condition expérimentale est ajoutée : la différence de sonie entre les 2 partiels (de 0 à 24 phons, par pas de 6 phons), établie préalablement de manière expérimentale. La tâche principale de l'exp. 2 consiste également en un jugement de sonie partielle et globale des scènes, aboutissant à l'évaluation d'un point d'égalité subjective (PSE) pour chaque valeur de différence de sonie (0, 6, 12, 18 et 24 phons).

En réponse aux trois questions soulevées par la problématique initiale (voir ci-dessus), les résultats intégrés de cette étude peuvent se résumer de la manière suivante :

1. lorsque les informations acoustiques relatives à un objet d'une scène complexe sont correctement encodées (excluant d'autres phénomènes comme le masquage), le reste de la scène n'influe pas sur le jugement de sonie de cet objet. Autrement dit, les auditeurs sont capables d'évaluer indépendamment la sonie de chaque objet dans une mixture (sonie partielle). Ce qui permet de conclure que les mécanismes d'analyse de scènes auditives prévalent sur le traitement et la perception de l'intensité sonore d'un objet sonore dans une scène multi-sources.

2. pour une même scène sonore (i.e. de contenu spectral identique), le fait qu'elle soit groupée (1 objet) ou ségrégée (2 objets) n'a pas d'influence significative sur l'évaluation de la sonie globale. Ce qui permet de conclure que la sonie globale ne dépend pas de principes d'organisation auditive ou d'analyse de scènes.

En corollaire, cela amène à faire l'hypothèse que les sonies globales et partielles sont traitées par des mécanismes neuronaux différents, opérant a priori en parallèle.

3. Lorsque deux objets concurrents d'une scène sont identiques en sonie, les mécanismes courants de sommation spectrale s'opèrent; en revanche, lorsque les deux objets concurrents diffèrent en sonie, la sonie globale tend à converger vers la sonie partielle de l'objet le plus fort. Ce dernier résultat peut s'interpréter par la présence d'un biais perceptif dû à la saillance relative des différents objets d'une scène auditive – ce phénomène n'étant, d'ailleurs, pas pris en compte par les modèles actuels de sonie.

III.2.1.b Perception et description des objets sonores

Les travaux sur la description des sons environnementaux sont issus du domaine musical et plus précisément des recherches sur la perception du timbre [Wessel, 1979 ; McAdams et al., 1995] qui ont connu une première application directe dans le développement des moteurs de recherche associés aux grandes bases de données instrumentales – cf. projet Studio en Ligne⁵⁵ de l'Ircam [Misdariis et al., 1998] – et dont les principes ont été étendus, puis dérivés à la problématique de l'aide à l'orchestration (projet Orchids⁵⁶). Ces approches ont été transposées aux sons environnementaux afin d'extraire les dimensions perceptives sous-jacentes aux grandes classes de sons présentes dans nos environnements sonores quotidiens (machines, impacts, liquides, etc.) et de mieux comprendre les représentations mentales liées à ce type de sons ainsi qu'aux différents types d'écoute (réduite, causale, sémantique) mobilisés lors de notre perception sonore du monde [Chion, 1994].

Perception des sons environnementaux : méta-analyse

Une étude prenant la forme d'une "méta-analyse" a notamment regroupé plusieurs travaux portant sur différentes sources sonores industrielles : intérieur d'habitacle automobile, unité d'air conditionné, avertisseur automobile ou portière de voiture. L'objectif principal de cette analyse a été de proposer des typologies et modèles perceptifs faisant apparaître des invariants mais aussi des singularités qui permettent de décrire les sons du quotidien, et donc par extension, qui autorisent leur indexation et leur classification automatiques [Misdariis et al., 2010].

Ainsi, à partir du regroupement de 5 corpus initiaux (sons de moteurs, climatiseur, klaxon et portière) dans une phase expérimentale additionnelle, et d'une nouvelle passe de calcul de descripteurs acoustiques, nous avons mis en évidence et modéliser une structure à 2 niveaux pour la description et la représentation perceptive d'un sous-ensemble de sons environnementaux (Figure 10) :

- un niveau catégoriel qui, en l'occurrence, fait apparaître expérimentalement (tri libre) une typologie sonore de 3 familles génériques : "moteur", "instrument" et "impact". Par la suite, et moyennant une augmentation perceptivement valide (tri à choix forcé) de la population de ces familles, un modèle probabiliste (régression logistique) est construit et permet de décider de manière relativement fiable – moins de 4% d'erreur moyenne – l'appartenance d'un son donné à une famille. L'optimisation de ce modèle repose sur un couple spectro-temporel de descripteurs acoustiques : la durée effective (*Effective Duration – ED*) et l'étendue spectrale (*Spectral Slope – SSP*).
- un niveau continu qui, à l'intérieur de chaque famille, associe des dimensions perceptives modélisées par des corrélats acoustiques qui rendent compte des dissimilarités fines entre sons d'une même famille. Cette modélisation fait apparaître, d'une part une dimension commune aux 3 familles (le centre de gravité spectral – *spectral centroid*), et d'autre part, des dimensions spécifiques à chaque famille : le rapport d'énergie harmonique/bruit (*harmonic-to-noise ratio*) pour les moteurs, la rugosité (*roughness*) pour les instruments et la « netteté » (*cleanness*) pour les impacts. Ces modèles multidimensionnels permettent de prédire la position d'un son donné dans l'espace perceptif correspondant à sa catégorie.

Dans une perspective plus large, ces résultats peuvent potentiellement assister le processus de design sonore dans la mesure où les modèles développés dans cette étude peuvent contribuer à trier, comparer des sons ou bien effectuer une recherche par rapport à un son de référence, sur des critères de similarités perceptives, autant catégorielles que continues.

⁵⁵ <http://architexte.ircam.fr/textes/Vinet98b/index.pdf>

⁵⁶ <https://www.ircam.fr/projects/detail/orchestration-assistee-par-ordinateur-orchids/>

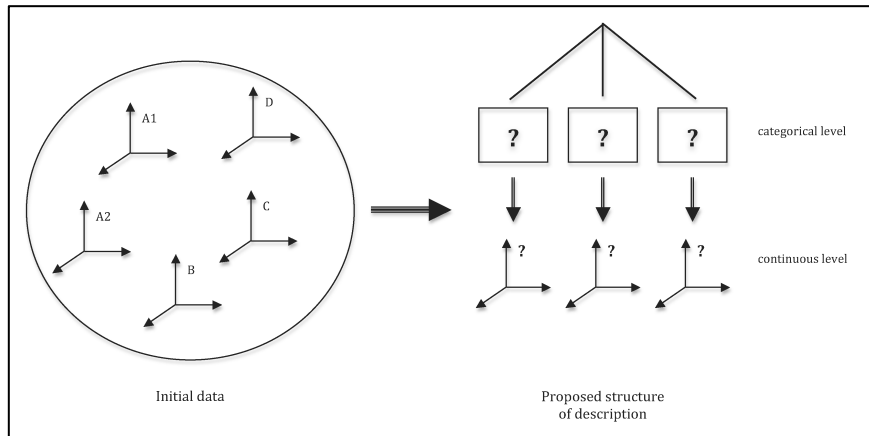


Figure 10. Principe de la méta-analyse de 5 corpus de sons environnementaux (moteurs A, climatiseur B, klaxon C, portière D) : modélisation d'une structure perceptive à 2 niveaux (catégoriel et continu).

Perception d'un objet sonore dans son environnement : émergence et détectabilité

Les travaux d'Anaïs Gruson visent à étudier les percepts d'émergence et de détectabilité d'un objet sonore (source) en fonction de ses propriétés acoustiques et du rapport qu'il entretient avec le milieu dans lequel il évolue. Le contexte particulier de cette étude est la signature sonore du véhicule électrique en milieu urbain et son objectif est de déterminer des propriétés acoustiques – ou des plages de valeur de ces propriétés – favorables à signifier la présence d'un véhicule sans pour autant contribuer à l'augmentation du niveau sonore global, et de la gêne induite. Cette réflexion s'inscrit dans une démarche écologique (ou naturaliste) qui consiste à considérer que toutes les espèces d'un écosystème donné cohabitent en se partageant l'espace, en l'occurrence sonore, et ses canaux de communication associés [Truax, 1984; Krause, 2008]. Transposé au cas d'étude présent, il s'agit donc d'identifier les degrés de liberté spectro-temporels favorables à l'insertion d'une nouvelle "espèce" dans l'environnement sonore urbain : le véhicule électrique sonifié [Misdariis et al., 2013].

L'étude est expérimentale ; elle s'appuie dans un premier temps sur la constitution d'un corpus dédié, à la fois en termes de signature sonore (*warning signal*) et de bruit de fond (*masking signal*) :

- le corpus de signatures sonores s'inspire de la littérature et notamment d'une étude de préférence sur les sons de véhicule électrique définissant des catégories représentatives : moteur, bourdonnement, cliquetis, sifflet, klaxon, sirène et bruit blanc [Nyeste et al., 2008]. Sur la base de cette typologie, un corpus de sons est constitué et caractérisé en fonction de ses propriétés acoustiques, principalement relatives à deux dimensions : en temporel, la dimension "continu \leftrightarrow discontinu", en fréquentiel, la dimension "tonal \leftrightarrow bruité". Un descripteur acoustique est associé à chacune de ces dimensions et permet de contrôler la position des stimuli sélectionnés dans l'espace – ici échantillonné à 3 modalités : le taux de modulation (*modulation rate*) modélise les états continu / modulé / impulsif (discontinu) de la dimension temporelle; la planéité spectrale (*spectral flatness*) modélise les états harmonique (tonal) / inharmonique / bruité de la dimension fréquentielle.

- le corpus de bruits de fond s'inspire également de la littérature et notamment d'une étude, similaire à celle de Gruson, utilisant une typologie représentative d'environnements urbains [Menzel et al., 2011]. Trois principales classes d'environnements sont ainsi retenues : animé (*2-lane busy street in downtown*), résidentiel (*2-lane road in residential area*) et commerçant (*narrow road in shopping area*) et font l'objet de prises de son en extérieures (*field recording*) contrôlées en critères géographiques et physiques (mesure des niveaux), ainsi qu'en qualité audio (format et type d'enregistrement).

Ces deux éléments permettent *in fine*, la construction d'un scénario d'écoute binaurale, également basé sur les données de la littérature et simulant le mouvement latéral de passage d'un véhicule par rapport à un auditeur statique situé en un point médian de la scène, au moyen d'une fonction de pondération du niveau sonore de la source en fonction de la distance à l'auditeur [Kerber et Fastl, 2008]. Le protocole expérimental de l'étude s'appuie sur la théorie de la détection du signal, et s'implémente suivant un paradigme de temps de réaction afin de quantifier la capacité d'un stimulus à prévenir (à temps) de la présence d'un objet sonore – en l'occurrence, le véhicule électrique sonifié. Le scénario d'écoute est décliné suivant la combinatoire sons (*warning*) x bruit de fond (*masking*). De plus, il est présenté à l'auditeur à 4 reprises distinctes (avec, au moins, 2 jours d'écart), afin d'étudier également les

mécanismes d'apprentissage. Les facteurs expérimentaux sont donc les sons, les bruits de fond et les répétitions. A partir des données recueillies (valeur des temps de réaction pour chaque condition), une analyse de variance permet d'évaluer leur influence respective sur la décision (détection).

L'analyse statistique des données délivre deux principaux résultats. D'une part, on identifie des zones dans l'espace spectro-temporel où la détectabilité des signatures sonores est maximale. De plus, on observe que ces zones d'émergence sont différentes suivant le contexte. Autrement dit, pour un corpus de sons donné, le type de bruit de fond influence la capacité de détection (Figure 11).

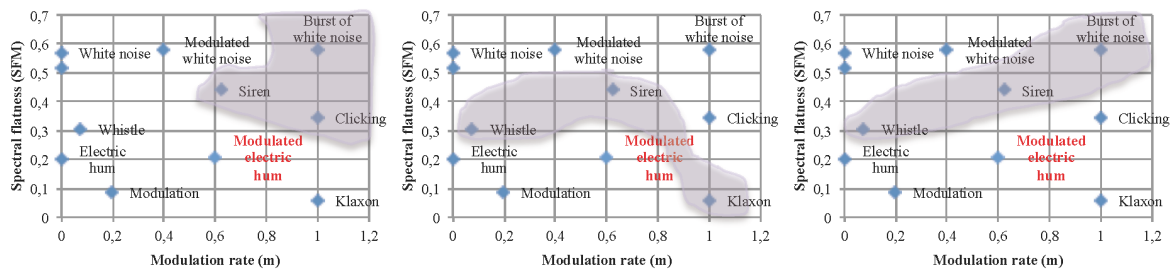


Figure 11. Espaces de modélisation des signatures sonores du véhicule électrique sur 2 dimensions : temporelle (*modulation rate* – abscisse) et spectrale (*spectral flatness* – ordonnée). Les graphiques représentent (en gris) également les zones de détectabilité maximale selon le type d'environnement urbain : résidentiel (gauche), commerçant (centre) et animé (droite).

D'autre part, on met en évidence une interaction significative entre les sons et les répétitions dans le temps (espacées de plusieurs jours), c'est-à-dire un effet d'apprentissage sur le mécanisme de détectabilité. On montre, en outre, que les profils d'apprentissage sont différents suivant les types de son, ce qui permet d'avancer l'hypothèse que cet effet cognitif dépend soit des propriétés physiques, soit du contenu sémantique des signatures sonores (Figure 12).

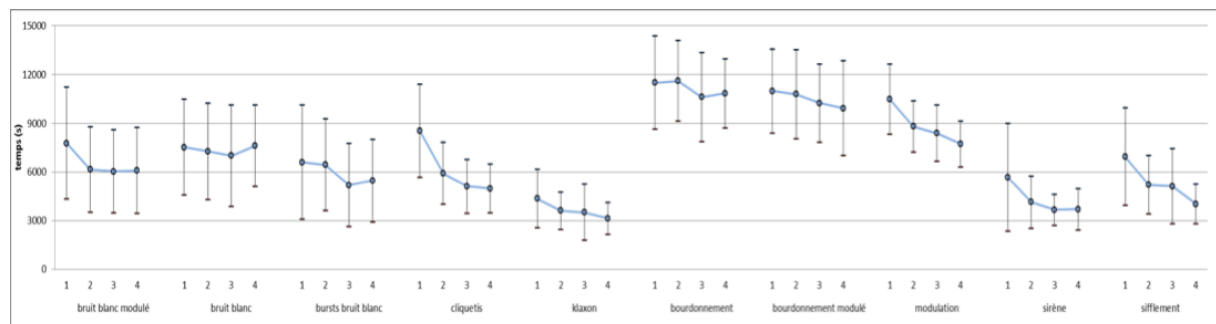


Figure 12. Effet de l'apprentissage sur la détectabilité d'un objet sonore – véhicule électrique sonifié – dans un contexte urbain, en zone commerçante (A. Gruson). La mesure de temps de réaction (TR, en ordonnée) est réalisée pour chaque signature sonore (abscisse) au cours de 4 séances d'écoute distinctes. On observe, pour certaines signatures, une décroissance significative de la valeur du TR, donc une augmentation implicite de la détectabilité.

III.2.1.c Conception informée d'interfaces numériques

Conception d'alarmes sonores innovantes

La conception de nouvelles interfaces homme-machine s'opère ici dans le champ des alarmes sonores. Dans le cadre d'un projet de Résidence en Recherche Artistique⁵⁷ de l'Ircam, elle implique, premièrement, la volonté – et la curiosité – d'un compositeur (Alexander Sigman⁵⁸) pour ces nouvelles formes de création, deuxièmement, les connaissances scientifiques de l'équipe PDS relatives aux alarmes sonores ainsi qu'à la description et la modélisation acoustiques, et troisièmement, la complicité d'un designer (Matthias Megyeri⁵⁹) s'intéressant notamment aux problématiques de frontières entre espace public et espace privé. Le projet – baptisé *alarm/will/sound (a/w/s)* – cherche à explorer cette frontière

⁵⁷ <https://www.ircam.fr/creation/residence-en-recherche-artistique/>

⁵⁸ <http://lxsigman.com>

⁵⁹ <http://www.matthiasmegyeri.net>

dans le cas particulier des alarmes automobiles et, plus largement, à étudier l'influence de ces systèmes sur des comportements humains. Pour cela, dans la lignée de Roy Patterson ou de Judy Edworthy, il vise une extension du domaine de l'alarme [Patterson et Datta, 1999 ; Edworthy et al., 2011], et le design de prototypes innovants en la matière. Ainsi, suivant la méthodologie formelle de l'équipe, le projet *a/w/s* donne lieu à plusieurs objets de recherche et de création (Figure 13) :

- la constitution d'un catalogue de sons d'environnement destiné à alimenter la création des alarmes en matières sonores. Ce répertoire est structuré sur la base d'une taxonomie des sons du quotidien dérivés de travaux antérieurs qui ont mis en évidence des typologies d'état (solide, liquide, gaz), de sources (mécaniques, électriques, synthétiques) ou d'action (frapper, frotter, couler, etc.) [Gaver, 1993 ; Houix et al., 2012]. Plus spécifiquement, le répertoire de travail est organisé en 3 catégories primaires : sons individuels, sons complexes (scènes) et alarmes. Au niveau le plus bas de sa structure, il présente les principales entrées suivantes : naturel/vocal, industriel/mécanique, synthétique/électroacoustique, expressions du danger au cinéma, alarmes automobiles réelles et scènes auditives comprenant des enregistrements ou des synthèses de sons individuels complexes. Les sons ont été sélectionnés dans des bases de données sonores commerciales, enregistrés sur le terrain, ou bien générés par diverses techniques de synthèse/transformation.

- la modélisation acoustique des éléments du répertoire à partir de descripteurs perceptivement pertinents : centre de gravité spectral et rapport harmonique/bruit. Sur la base d'études précédentes (notamment [Misdariis et al., 2010]), nous avons ainsi pu dresser l'espace des timbres utilisés par la suite dans la conception sonore des alarmes. Cette étape a également permis de construire des éléments hybrides, obtenus par synthèse croisée, afin d'assurer un échantillonnage consistant de l'espace de description acoustique, c'est-à-dire une distribution uniforme des éléments peuplant cet espace.

- la production d'un grand nombre de propositions d'alarmes sonores innovantes, à partir des différents timbres précédemment obtenus, et par un travail complémentaire sur la forme des signaux (morphologie temporelle). Les paramètres de forme sont issus de la littérature qui définit des profils génériques prototypiques (stable, ascendant, descendant, impulsif, répétition, rebond) [Minard et al., 2010 ; Peeters et Deruty, 2010]. Ils sont également basés sur la description de la périodicité temporelle d'une alarme (*IOI - Inter Onset Interval*) qui définit sa cadence. Cette étape a nécessité le développement d'un environnement de production dédié permettant de manipuler ces différents éléments de conception, et pratiquement, d'appliquer différentes modalités de paramètres temporelles (profil, IOI) sur différentes textures sonores – par analogie avec un paradigme largement utilisé en graphisme qui consiste à utiliser un calque sur une matrice d'image afin d'en modifier ses propriétés.

- l'expérimentation qui a permis de sélectionner (XP1) puis d'évaluer perceptivement (XP2) les propositions issues du processus de conception décrit ci-dessus. La sélection (1) s'est effectuée sur un critère d'identifiabilité afin de s'affranchir de sonorités explicitement iconiques (reconnaissance directe de la source) et de travailler en priorité avec des textures de nature abstraite. L'évaluation (2) s'est effectuée sur une échelle de comportement évoqué : attraction — indifférence — répulsion, et a permis d'estimer le rôle des différents facteurs de conception (typologie/texte, profil morphologique, cadence) sur la réaction d'un usager à l'écoute d'une alarme.

Cette phase expérimentale a, par ailleurs, contribué à un apport méthodologique original pour l'équipe : la mise en œuvre de protocoles de test en ligne s'appuyant sur un paradigme de type *crowdsourcing*. Cette solution a été implémentée techniquement pour les deux expériences (programmation de l'interface d'expérience en Javascript, intégration dans une architecture de type client/serveur), et déroulée sur de longues périodes de temps. Les avantages et inconvénients de l'approche ont ainsi pu être objectivés : large panel de participants mais quantité de données manquantes importantes (le test est souvent abandonné avant la fin), facilité d'assignation individuelle de l'expérience (grâce à l'architecture client/serveur), voire d'exécution du test en parallèle.

Globalement, les résultats montrent une influence nette de l'IOI sur l'attraction/répulsion (un IOI long provoque davantage d'attraction) – à rapprocher de résultats d'études s'intéressant à l'influence de ce paramètre d'alarme sur l'urgence perçue [Suied et al., 2008]. De manière moins évidente, on montre également une certaine influence de la morphologie sur le caractère répulsif (profils ascendant / descendant plutôt qu'impulsif) [Misdariis et Sigman, 2016 ; Sigman et al., 2013]. Même si ces conclusions restent encore préliminaires et demanderaient à être consolidées, elles peuvent d'ores et déjà permettre d'envisager la conception d'une série d'alarmes sonores innovantes sur un gradient de répulsion-attraction et l'implémentation de ces solutions en situation réelle et interactive. C'est, en l'état, ce que ce projet vise à moyen terme, avec la poursuite des échanges avec A. Sigman et l'ambition d'une collaboration industrielle susceptible d'héberger une recherche dans ce domaine.

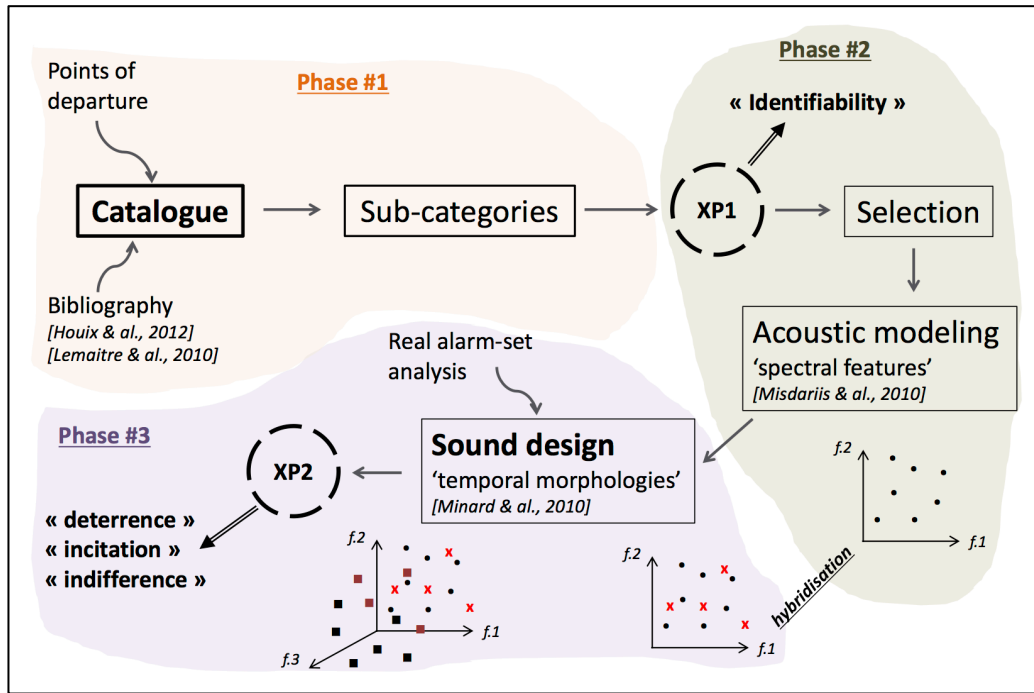


Figure 13. Synopsis du projet *alarm/will/sound* déployé dans le champ des alarmes sonores innovantes, qui a donné lieu à plusieurs étapes de recherche et de création (A. Sigman).

Conception d'interfaces perceptives pour la synthèse sonore

Les travaux sur l'interfaçage perceptif de la synthèse sonore se sont intéressés au logiciel *Modalys*. Ce type de synthèse implémente les modèles de base comme un couplage physique entre un excitateur et un résonateur, eux-mêmes décrits physiquement suivant le formalisme modal (cf. § II.2.1). *Modalys* se pilote principalement selon trois modalités : textuelle (codes), graphique (patches) ou symbolique (partitions) offrant un contrôle physique (bas niveau) ou musical (haut niveau). Partant de là, un autre mode de contrôle a été étudié afin de relier des attributs perceptivement pertinents issus de cette synthèse (timbre, matériau, etc.) avec des paramètres structurels (élasticité, densité, etc.) ou géométriques (longueur, épaisseur, etc.) liés à la définition des modèles. Ces travaux ont fait l'objet de deux études exploratoires et complémentaires (stages de Master 2) : Maël Derio a étudié perceptivement la variation des paramètres physiques d'un résonateur soumis à une excitation donnée (plaques frappées par un maillet) ; Reinaldo Dos Santos, a étudié perceptivement la variation des paramètres d'interaction d'un excitateur sur un résonateur donné (archets frottant une corde).

L'étude de M. Derio a pour objectif de trouver des relations entre la variation des paramètres mécaniques d'une plaque (frappée) et la perception du timbre résultant. Elle s'appuie donc naturellement sur les études fondamentales relatives à la modélisation perceptuelle du timbre musical ([Grey, 1977], [Wessel, 1979], [Krumhansl, 1989], [McAdams et al., 1995]) ainsi que sur celles qui étudient la capacité de notre système auditif à reconnaître les sources sonores, et précisément leurs tailles, formes ou matériaux ([Lakatos et al., 1997], [Houix, 2003], [Roussarie, 1999], [Aramaki et al., 2011], etc. – voir [Houix et al., 2007] pour une revue détaillée et [Misdariis, 2014 - pp.135-137] pour une synthèse). Elle se situe ainsi à la croisée de la psychoacoustique et de la vibroacoustique : un domaine baptisé « psychomécanique » par S. McAdams, notamment [McAdams, 2000 ; Canévet et al., 2005]. L'une des premières étapes a consisté à examiner de manière exhaustive les relations de dépendance (par analyse ACP) entre les deux domaines. D'une part, les descripteurs psychoacoustiques perceptivement pertinents pour le timbre (enveloppe temporelle, centre de gravité, étalement spectral, régularité spectrale, etc.). Et d'autre part, des paramètres physiques (largeur, longueur, épaisseur, masse volumique), élastiques (module d'Young, coefficient de Poisson) ou d'amortissement (décroissance de l'énergie pour chaque mode). Après la sélection des paramètres les plus pertinents pour l'étude (coefficients d'amortissement) et l'échantillonnage de leurs valeurs, une seconde étape a successivement mis en œuvre un test de dissemblance, construit un espace perceptif (par analyse MDS), expliqué les dimensions de cet espace par des descripteurs psychoacoustiques puis des attributs perceptifs ("impulsivité", "résonance" et "brillance"), et enfin, relié ces dimensions aux paramètres mécaniques initiaux (par régression multiple).

Le modèle ainsi construit permet alors, a priori, de replacer un son de synthèse par modèle physique de plaque – connaissant ses propriétés mécaniques – dans un espace perceptif relatif à son timbre. C'est un premier pas vers la conception d'une interface perceptive associée au logiciel *Modalys*.

L'étude de R. Dos Santos a pour objectif de transposer le paradigme opéré dans le cas de la plaque à l'étude perceptive des paramètres de l'excitateur – ou plutôt de l'excitation –, toutes propriétés mécaniques du résonateur demeurant constantes par ailleurs. Le cas d'étude porte sur le système archet+corde et sur l'interaction "frottée" mettant en jeu le phénomène de type "collé-glissé" (*stick-slip*). D'un point de vue physique, cette interaction réalise le couplage entre la force de frottement (rapport des forces tangentielle et normale de l'archet sur la corde, au point de contact) et la vitesse relative (différence des vitesses tangentielles de l'archet et de la corde, au point de contact). Dans *Modalys*, cette fonction non linéaire est modélisée par une fonction symétrique, linéaire par morceaux (3 segments), et contrôlée par 4 paramètres qui rendent compte des caractéristiques de la colophane appliquée sur le crin de l'archet (*rosin parameters*). Cette description paramétrique est utilisée pour construire un plan d'expérience à 2 variables indépendantes (les deux paramètres de colophane principaux parmi les quatre) déclinées sur 4 valeurs. De la même manière que précédemment, un espace perceptif est obtenu expérimentalement, ses dimensions sont attribuées à des propriétés de timbre (irrégularité spectrale vs. temps d'attaque) et corrélées aux variables de l'étude. Dans ce cas, des modèles non linéaires de régression multiple semblent être davantage appropriés pour relier dissemblances perceptives et paramètres mécaniques.

Les résultats de cette double étude duale ont permis d'implémenter les premiers éléments prototypes d'une interface perceptive de contrôle de *Modalys*, mais aussi de tirer des conclusions en termes de faisabilité : si la méthode employée semble être valide localement (*i.e.*, pour un élément en particulier), elle présente rapidement des limites pour une extension à grande échelle (une bibliothèque étendue, voire quasi-infinie, de modèles). Ce constat nous pousse à envisager d'autres perspectives de recherche davantage conforme au potentiel du moteur de synthèse *Modalys*, notamment celle consistant à passer par une étape préalable de classification des typologies de son possibles et d'en étudier perceptivement les similarités intra-classes et les différences inter-classes. [Misdariis et al., 2007]

Dans cette perspective, une troisième étude menée par Vicky Ludlow (Master thesis /Chalmers Univ.), inscrite dans le projet CLOSED, cherche, elle aussi, à établir une loi de correspondance (*mapping*) entre l'espace physique des paramètres de synthèse et un espace perceptif. Cette étude complémentaire se démarque néanmoins des précédentes sur trois points essentiels. D'une part, penser en termes catégoriels plutôt que continus, en considérant des classes d'événements sonores structurelles, associées à des percepts de matériaux (bois, métal, verre, plastique). D'autre part s'intéresser à un autre moteur de synthèse par modélisation physique, la *Sound Design ToolBox*⁶⁰ (*SDT*), développée par l'un des partenaires du projet, dont l'implémentation porte sur des interactions basiques et un contrôle de nature phénoménologique, perceptivement orientés [Delle Monache et Rochesso, 2014]. Et enfin, utiliser des techniques d'apprentissage automatique (*machine learning*) afin de faire coexister les contraintes expérimentales (notamment, nombre de stimuli) et le potentiel de variation quasi infini des modèles.

Partant de là, le travail consiste globalement à instruire la question de la perception des matériaux et de ses corrélats mécaniques (notamment, la fréquence (f), le temps de décroissance (τ_D) ou le coefficient de friction interne ($\tan(\phi)$)) afin de les relier à des paramètres de modèles physiques et d'élaborer un corpus d'étude associé à l'outil de synthèse *SDT*. Les stimuli ainsi construits sont ensuite catégorisés – et donc labellisés – perceptivement suivant les 4 catégories cibles : bois, métal, verre, plastique. Cette base de sons annotés représente la "vérité-terrain" qui rentre en jeu dans la conception du classifieur automatique : un sous-groupe de sons annotés alimente le processus d'apprentissage (entraînement), le sous-groupe complémentaire réalise l'étape de validation (test), par comparaison des résultats issus de la catégorisation perceptive (vérité-terrain) et ceux issus de la classification automatique. Plusieurs algorithmes d'apprentissage-machine (*machine learning*) sont testés (*Perceptron*, *Support Vector Machines* (SVM), *Probabilistic Generative Models* (PGM)), le PGM donnant finalement les plus faibles pourcentages d'erreur de classification, notamment grâce au fait qu'il permet d'établir des frontières non-linéaires entre catégories de sons, dans l'espace des paramètres.

Une fois validé, le classifieur automatique peut ainsi permettre d'informer un ensemble de sons de synthèse issus d'un modèle paramétrique (p. ex., un modèle physique) avec une grande précision (échantillonnage fin des paramètres) et un taux d'erreur faible. Le contrôle perceptif de la synthèse associé est alors rendu possible par la connaissance a priori de ces informations : en l'occurrence les plages de valeurs des paramètres du modèle qui aboutissent à la perception d'un matériau en particulier.

⁶⁰ <http://soundobject.org/SDT/>

III.2.2 Projets industriels

Les projets de recherche et de développement industriels se focalisent sur des réalisations dans le domaine de la sonification des interfaces homme-machine (§ III.2.2.a) ainsi que dans le domaine des produits manufacturés (§ III.2.2.b), en l'occurrence, dans deux contextes industriels différents : l'horlogerie et l'automobile.

III.2.2.a Design d'interfaces homme-machine sonores

Le design d'interfaces homme-machine (IHM) sonores est ici traité sous l'angle de la sonification. Il s'intéresse notamment aux structures hiérarchiques qui sous-tendent l'architecture de certains systèmes d'informations. Le cadre applicatif du projet est l'habitacle automobile, environnement de plus en plus exigeant en termes d'attention sensorielle et cognitive, où de nombreuses informations sont proposées au conducteur sous forme principalement visuelle (témoins ou afficheurs sur lesquels apparaissent graphismes ou textes), mais aussi sonore – notamment lorsqu'une information est importante et nécessite une réaction rapide. En partant du principe que la tâche principale du conducteur – la conduite – requiert une attention visuelle soutenue, l'objectif du projet est de fournir une aide sonore à l'une des tâches de vie à bord secondaire : la navigation dans le système central d'informations – ordinateur de bord ou "centre multimedia" –, généralement intégré dans le tableau de bord du véhicule, accessible *via* un écran, et contenant des données véhicule (fonctionnement, navigation, ...) ou personnelles (musique, photos, ...). Le projet, baptisé *Findability*, s'effectue dans le cadre d'une collaboration avec le constructeur automobile Renault (Dir. De la Recherche – DREAM).

Dans ce contexte, l'enjeu de la sonification est de donner au conducteur la possibilité de manipuler le centre multimedia "en aveugle", c'est-à-dire de naviguer dans sa structure d'informations sans avoir à regarder l'écran afin de préserver toute sa concentration pour la conduite. Le son, associé à chaque item, doit donc rendre compte à la fois du contenu sémantique des menus mais également de la position de navigation à l'intérieur de la structure, c'est-à-dire renseigner sur le type ou famille auquel il appartient (musique, téléphone, etc.), et à quels niveaux hiérarchiques il se trouve : profondeur (verticale) dans l'arborescence et avancement (horizontal) sur chaque niveau.

Le projet part d'un cahier des charges fonctionnel et d'une étude bibliographique dans le domaine des interfaces sonores (*auditory display*) recensant les principales approches traditionnelles :

- « *earcons* » : la notion d'*earcon* a été introduite par Meera Blattner [Blattner et al., 1989] et correspond à une première solution pour véhiculer une information par le son, de manière non-verbale. La relation entre l'*earcon* et sa signification est posée ici de manière arbitraire et doit donc être apprise par les auditeurs. L'*earcon* est généralement construite sur la base de motifs musicaux modulés suivant certains paramètres tels que la dynamique (gamme de variation d'intensité), le rythme (organisation temporelle des sons), la hauteur (fréquence fondamentale), le timbre (type d'instrument), le registre (gamme de variation de hauteur), ou bien encore la spatialisation (position dans l'image stéréo).

- « *auditory icons* ». La notion d'*auditory icon* – icône sonore – a été introduite par William Gaver [Gaver, 1986] pour décrire un son qui représente un objet (ou une action) en faisant référence à un son de notre environnement. Dans certains cas, le son peut être directement relié à l'objet ou à l'action (p. ex, représenter l'item "appareil photo" par le son du déclencheur d'un appareil photo reflex). Mais dans la plupart des cas un lien métaphorique est établi entre le son et l'objet qu'il représente (p. ex., un son de papier froissé pour vider la poubelle de l'ordinateur – cf. *SonicFinder* [Gaver, 1989]). Contrairement aux *earcons*, les *auditory icons* ne nécessitent que très peu d'apprentissage car ils font référence à un référentiel sonore commun.

- « *spearcons* ». La notion de *spearcon* – contraction de *speech* et *earcon* – a été initialement introduite par Bruce Walker [Walker et al., 2006] afin de pallier les limitations d'une sonification reposant sur des *earcons* ou des *auditory icons*. Il s'agit de synthèse vocale à laquelle est appliquée une compression temporelle (*time stretch*) conservant la hauteur, ainsi que divers traitements (filtres). La reconnaissance du mot, ou groupe de mots, n'est donc plus généralement assurée, et le *spearcon* joue le rôle d'une empreinte univoque. Des études en ergonomie montrent que le *spearcon* est un procédé efficace en termes d'apprentissage, mais il reste cependant facile à comprendre dans certains cas et n'est donc pas très différent d'une synthèse vocale simple [Palladino et Walker, 2007].

- « *morphocons* ». L'approche de type *morphocon* – contraction de *morphological earcon* –, introduite par Gaetan Parseihian [Parseihian et Katz, 2012], est constituée de courtes unités sonores temporelles (profils morphologiques) qui jouent le même rôle que les *earcons* et créent une grammaire pouvant être appliquée à n'importe quel texture sonore. De fait, les *morphocons* présentent les mêmes performances que les

earcons en termes d'apprentissage mais, grâce à leur caractéristique modulaire, elles permettent une sonification adaptée à une esthétique ou un contexte donnés.

La phase de création est assurée par Andrea Cera⁶¹ (compositeur et designer sonore) qui utilise le moteur de synthèse *Modalys* pour concevoir des solutions mixant deux approches de base – métaphorique et symbolique – et aboutissant à une approche hybride originale susceptible de répondre aux fonctionnalités visées. Cette solution hybride est un modèle mixte qui allie la capacité des *auditory icons* à suggérer directement un sens et celle des *earcons* à codifier des données plus abstraites comme la position dans l'espace d'une arborescence. En effet, l'approche métaphorique (*auditory icons*) semble la mieux adaptée pour signifier les grandes familles de base de la structure ; elle est donc utilisée pour sonifier les items du niveau le plus haut. L'approche symbolique (*earcons*) semble, quant à elle, mieux adaptée pour signifier la position dans l'espace de la structure hiérarchique ; produits à partir d'éléments constituant les *auditory icons* et du moteur de synthèse *Modalys*, les paramètres de synthèse des *earcons* sont ensuite connectés aux variables de navigation (coordonnées spatiales) : profondeur verticale et défilement horizontal (voir [Misdariis et al., 2011] pour une présentation détaillée).

Après une première phase de validation plutôt qualitative [Langlois et al., 2010], les solutions proposées sont finalement évaluées par une mesure oculométrique (technique d'*eye-tracking*), afin de répondre à l'hypothèse principale suivante : la sonification va accroître le temps passé à focaliser son attention sur une tâche principale (la conduite) comparé au temps passé à détourner son attention sur une tâche secondaire (la navigation). Le protocole expérimental comprend donc une tâche principale simulant l'attention visuelle de conduite (la détection d'un événement parmi une séquence visuelle contenant l'évènement et des distracteurs), et une tâche secondaire constituée de scénarios de navigation de différentes longueurs (court, medium, long) dans une structure hiérarchique sonifiée – ou non sonifiée, en condition "contrôle". Les deux tâches sont assignées spatialement dans un environnement de conduite simulé en laboratoire : tâche principale en frontal (T1), tâche secondaire en périphérie latéral (T2). Les principaux résultats montrent un apport significatif de la sonification en termes de temps passé à soutenir son attention sur la tâche principale (Figure 14, gauche) et nombre de détournement du regard entre les deux zones d'activité (Figure 14, droite). En revanche, des résultats complémentaires montrent que la sonification n'améliore pas la performance de navigation (temps mis pour atteindre une cible dans la structure hiérarchique) et que, par ailleurs, la tâche de navigation, sonifiée ou non, détériore la tâche principale (ici, la détection de l'évènement) – voir [Tardieu et al., 2015] pour une présentation détaillée.

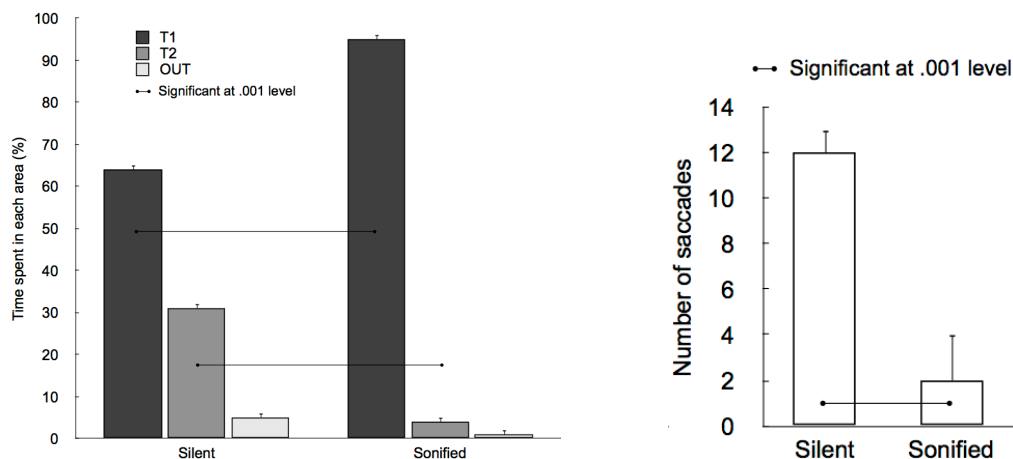


Figure 14. Etude oculométrique de l'influence du son sur l'attention de conduite. Les résultats montrent des différences significatives entre le temps passé à regarder dans la direction de la tâche principale de conduite (T1) et dans la direction de la tâche secondaire de navigation (T2), selon que la navigation est sonifiée – *sonified* – ou non sonifiée – *silent* – (droite). D'autres résultats montrent des différences significatives dans le nombre de détournements du regard suivant l'état de la navigation : *silent* vs. *sonified*. (gauche).

Ce travail permet de démontrer objectivement la diminution significative de la distraction visuelle du conducteur réalisant une tâche de navigation sonifiée et donc le bien-fondé du son dans un contexte d'assistance à la conduite. En outre, ces problématiques peuvent être transposées à d'autres domaines où les notions de contrôle et d'attention partagée sont également stratégiques comme, par exemple, un cockpit d'avion ou bien une salle de contrôle (ou de supervision) industrielle ou médicale.

⁶¹ <http://www.andreacera.info>

III.2.2.b Signature sonore d'objets industriels

Les deux projets qui suivent présentent une articulation art-science en design sonore dans un contexte fort d'application industrielle, mettant ainsi concrètement en œuvre le triptyque art-science-industrie, cher au design (cf. § I.1). Chacun à leur manière – et tous deux, de manière emblématique –, ils permettent d'éprouver les concepts généraux de la méthodologie de conception en design sonore développée par l'équipe au contact d'une réalité de terrain possédant ses données initiales spécifiques, ses propres contraintes de production et ses exigences de solution, notamment en termes de faisabilité, de réalisme et d'acceptabilité.

Design sonore pour l'horlogerie

Le premier objet industriel a été abordé dans le cadre d'une collaboration avec l'industrie horlogère, en association avec le compositeur Sébastien Gaxie⁶². L'objectif du projet est de réaliser le design sonore d'un système de sonneries de montre, appelées "répétitions-minute", dont la fonctionnalité est de pouvoir « lire l'heure à l'oreille » et dont le caractère est d'être « beau » et en accord avec l'identité de la marque (que l'on ne pourra divulguer ici en raison d'une clause de confidentialité). Les sonneries sont construites suivant une codification en heure/minute⁶³ et produites par deux systèmes mécaniques de type gong frappé par un marteau, miniaturisés et insérés dans le boîtier de la montre. Les solutions sont attendues sous la forme de spécifications numériques relatives au contenu spectral des sonorités issues du processus de design sonore. Le mandataire industriel, avec sa compétence-métier, se charge ensuite d'effectuer le travail d'ingénierie inverse (*reverse engineering*) permettant de remonter aux structures mécaniques capables de produire les propriétés spectrales spécifiées [Misdariis et al., 2015].

Suivant la démarche méthodologique de l'équipe, les trois grandes phases de l'étude se déploient donc de la manière suivante :

- l'élaboration du cahier des charges perceptif : à partir des données de la concurrence (fournies par le mandataire), un corpus de sons de référence est construit par analyse/resynthèse et, le cas échéant, hybridation, sur des critères de qualité intrinsèque, de réalisme par rapport à l'origine et de pertinence acoustique (vis-à-vis des descripteurs classiques du timbre). Partant de là, un espace perceptif est construit expérimentalement, modélisé au moyen de descripteurs acoustiques existants (centre de gravité et étendue spectrale) ou développés de manière *ad hoc* (« surface modale »). Ces données sont complétées par une carte des préférences permettant d'identifier les zones de l'espace perceptif jugées positivement ainsi que la contribution des descripteurs acoustiques à la préférence (fonction d'utilité). Par ailleurs, des portraits sémantiques sont élaborés – également expérimentalement – afin, d'une part de décrire les propriétés sonores des sons du corpus avec des attributs pertinents (relatifs aux sons ou à la source), et d'autre part, d'effectuer une opération de typage sonore, c'est-à-dire, relier les qualificatifs d'identité de la marque aux sons du corpus. La conjonction de ces deux jeux de données (sons ↔ attributs sonores et qualificatifs de marque ↔ sons) permet d'obtenir, *in fine*, la relation entre mots de la marque (identité) et mots du son (propriétés) et de fournir des éléments d'image de marque par des prototypes sonores, exploitables lors de la phase de conception.

- la conception des solutions : sur la base des données d'analyse issues de l'étape précédente, le compositeur S. Gaxie intègre le cahier des charges complet du projet – y compris les aspects techniques – et met en place une stratégie et des outils de travail pour mener à bien la phase de création sonore. Après avoir défini des principes généraux de composition relatifs à des notions musicales de haut niveau (harmonicité, fusion/transposition, etc.), il met en œuvre un cadre de travail – un « établi » – qui passe notamment par le choix des principes de production de la matière sonore (types de synthèse ou de transformation sonore). Trois paradigmes différents sont retenus : extraire la matière à partir des sons du corpus eux-mêmes par analyse/resynthèse additive ; utiliser le même principe mais à partir de sons instrumentaux ou environnementaux choisis pour la pertinence de leur timbre (percussion métallique, son de verre, etc.) ; effectuer une modélisation physique des mécanismes producteur du son, en l'occurrence le gong frappé – le logiciel *Modalys* est ici utilisé pour, en premier lieu, modélisé finement (par éléments finis) le gong censé être implanté dans le boîtier de la montre (dimensions, forme, mode d'excitation), puis ensuite, pour extrapoler les sonorités "réalistes" obtenus et explorer les possibilités de timbre par "distorsion" des modèles (géométries, matériaux, points de frappe, etc.) (Figure 15).

⁶² <http://brahms.ircam.fr/sebastien-gaxie>

⁶³ p. ex., 5h 34min = 5h + 2 ¼ h. + 4 min. = [H-H-H-H-H] + [M/H-M/H] + [M-M-M-M]



Figure 15. Utilisation de la synthèse par modélisation physique (*Modalys*) pour produire de la matière sonore. Le mécanisme de gong frappé est modélisé fidèlement dans un premier temps afin d'obtenir des sonorités réalistes (gauche) ; le modèle est ensuite extrapolé en termes de géométrie ou de matériau afin d'explorer de nouveaux espaces de timbre (droite).

En outre, tous les sons obtenus par ces différentes méthodes sont ensuite replacés dans l'espace perceptif au moyen des descripteurs acoustiques initialement établis. Cette démarche prédictive permet de connaître la position de chacune des solutions par rapport aux zones de préférence ou aux prototypes représentant les critères de typage. Elle permet ainsi de sélectionner un sous-ensemble de sons pertinents et ciblés, parmi le grand nombre des solutions produites (plus de 400, au total).

Enfin, S. Gaxie développe également un autre outil de travail grâce à l'environnement de Composition Assistée par Ordinateur (CAO) *OpenMusic*⁶⁴, afin de traiter la question de la création d'une séquence complète de sonnerie composée du son des heures (H), du son des minutes (M) et de leur couplage dans la séquence des quarts d'heure (M/H) (cf. note de bas page précédente). Dans cet environnement, qui manipule des données musicales symboliques de haut-niveau (notes, valeurs des notes, accords, etc.) ainsi que diverses fonctions de traitement du signal, deux approches sont implémentées : la transposition, consistant à simplement décaler la note fondamentale de la sonnerie H pour créer la sonnerie M, et la fusion consistant à créer la sonnerie M à partir d'une analyse combinée des sonneries M et H et du calcul d'une fondamentale virtuelle. Cet outil donne lieu à la finalisation des propositions qui seront jugées lors de la phase d'évaluation.

- la sélection de la solution optimale : une étape de validation expérimentale examine les différentes propositions finalisées à la lumière des critères de typage sonore établis initialement. Le protocole utilisé est le même que celui mis en œuvre lors de la phase d'analyse (définition du cahier des charges perceptif). Il aboutit à une sélection de 2 (parmi 58) solutions optimales qui constituent les livrables finaux du projet.

Design sonore pour l'automobile

Un autre objet industriel, correspondant à un autre cas d'étude emblématique, a engendré un travail approfondi en design sonore : le véhicule électrique (VE). Ce projet de conception/réalisation de la signature sonore du VE s'inscrit dans une problématique à la fois technique, scientifique et sociétal. Il constitue un "terrain de jeu" idéal pour la discipline tout en engageant fortement sa responsabilité et son éthique. Il représente, en outre, un exemple de recherche-projet en design sonore où, selon les termes d'A. Findeli, le projet devient précisément 'terrain' d'expérimentation et de recherche (cf. § I.2)

Pour cela, on part du constat que l'une des caractéristiques premières de la motorisation électrique est d'être quasiment silencieuse alors qu'elle équipe des véhicules qui continuent d'évoluer – au moins pour quelques décennies encore – dans un environnement généralement bruyant (la ville). Ce sujet et ce contexte particuliers posent donc trois grandes questions : la co-existence avec les autres types de véhicule induisant un risque potentiel pour les personnes qui évolue en proximité (piétons, cyclistes, etc.) ; l'ergonomie de conduite, en l'absence de retour sonore pour le conducteur ; la modification globale du paysage sonore (urbain) et la réflexion sur l'intégration de cette nouvelle *espèce* dans notre écosystème quotidien. La problématique générale peut alors se formuler de la manière suivante : quelles propriétés doit posséder la signature sonore du VE pour répondre aux règles de sécurité minimum sans pour autant contribuer à l'augmentation de la pollution sonore environnante ?

Dans le cadre d'une collaboration avec Renault – et à l'issue d'un concours en design sonore –, nous avons travaillé, à nouveau avec le compositeur/designer sonore Andrea Cera, pour concevoir et réaliser la signature sonore du premier modèle (*Zoé*) de la gamme électrique du constructeur. En satellite à cet axe principal de travail, nous avons également effectué des recherches et des réalisations connexes,

⁶⁴ <http://repmus.ircam.fr/openmusic/home>

relatives à différents prototypes (*concept-cars*) qui ont été réalisés tout au long du développement du projet Zoé (Figure 16). Par analogie avec la notion clairement définie de *concept-cars* dans l'automobile – sorte d'étude de style notamment vouée à tester des nouveaux concepts de design –, le travail sur les prototypes nous a permis de laisser libre cours aux idées et à la créativité en s'affranchissant des contraintes techniques et en développant de véritables « *concept-sons* » qui ont permis de faire avancer les mentalités auprès du constructeur et les réflexions sur le projet principal.

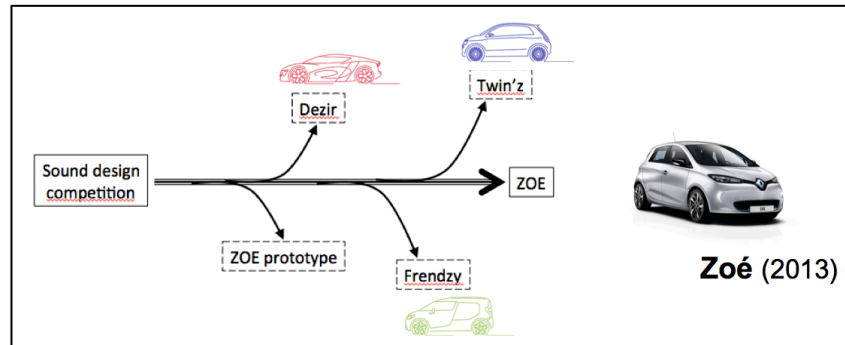


Figure 16. Design sonore pour le véhicule électrique : le travail sur le véhicule de série (Zoé) s'est accompagné d'études satellites sur différents *concept-cars* associés (*Dezir, Frendzy, Twin'z*) donnant lieu à la création de différents « *concept-sons* ».

Cela étant, pour ce projet, le cadre méthodologique usuel (analyse – création – validation) a été quelque peu remanié et adapté à la particularité du contexte d'étude. La cause de cet écart à l'idéalité est principalement double : d'une part, l'aspect émergent de la thématique et la quasi-absence d'état dans l'art dans le domaine nous a empêché de travailler de manière purement analytique (comme dans le cas précédent de l'horlogerie, par exemple), et d'autre part, l'intégration du projet dans un process industriel affirmé nous a conduit à adapter notre démarche de travail autant vis-à-vis des outils de production sonore que des modes d'interaction avec le partenaire industriel (nous reviendrons sur la contribution de ces éléments à l'analyse du statut du designer et du design sonore, respectivement § IV.1.1.a et § IV.1.2.a).

Ainsi, la mise en œuvre et la conduite de ce projet – caractérisé, de fait, par une certaine dose de *non linéarité* – s'est appuyé sur 4 principaux éléments.

1) des sources d'inspiration multiples issues de données de différentes natures :

- industrielle : des *briefs* initiaux portant principalement sur des aspects design, marketing et techniques (acoustique, électronique) ont été fournis afin d'exposer les différents cahiers des charges et de dresser le cadre du projet. Outre des données factuelles sur la stratégie industrielle ou la cible-client, les supports d'échange ont principalement été constitués de planches de tendance – collection d'images illustrant les concepts de design du produit – ainsi que de spécifications techniques concernant le dispositif de production/émission sonore embarqué sur le véhicule. Ce premier jeu de données a ainsi notamment permis de dégager des idées générales sur le VE telles que le fait que la sonorité du moteur électrique puisse difficilement se rapprocher de celle du moteur thermique actuel, ou bien la notion de « son silencieux » (associée, p. ex., au sillage d'un voilier – traduction de l'une des images des planches de tendance).

- scientifique : malgré le faible volume d'études scientifiques sur le sujet (à l'époque de démarrage du projet), nous avons malgré tout tenté de compiler les résultats des travaux existants. Cette recherche bibliographique a d'abord permis de mettre en évidence – et de dater plus ou moins – l'existence du problème, avec notamment l'étude de Norman Otto sur la qualité sonore des véhicules électriques [Otto et al., 1999] ou bien les prémisses d'actions de législation en la matière, notamment au Japon. Cette recherche nous a également permis de formaliser des premiers concepts sur la base, notamment, des travaux de Michael Wogalter [Wogalter et al., 2001] et Patrick Nyeste [Nyeste et al., 2008]. En effet, dans leurs études conjointes, Wogalter et Nyeste tentent de définir des catégories de sons susceptibles de fournir des indices efficaces pour le véhicule électrique, respectivement en termes d'association objet-son et d'acceptabilité. A partir d'une enquête à grande échelle, Wogalter et coll. produisent des descriptions verbales de types de sons « idéaux » pour le VE : musique, sifflet, bip, avertisseur, cliquetis, moteur. Par la suite, Nyeste et coll. reprennent cette taxonomie, l'augmentent de trois nouvelles classes (bruit blanc, bourdonnement et sirène) et définissent expérimentalement une échelle d'acceptabilité qui fait apparaître

que les classes de moteur, bourdonnement et bruit blanc sont les plus acceptées et préférées, à l'opposé des classes d'avertisseur, sirène et sifflet (voir aussi § III.2.1.b).

- **contextuelle** : en référence aux principes de l'acoustique écologique [Schafer, 1977 ; Krause, 2008], nous avons fait l'hypothèse que l'introduction d'une nouvelle espèce (sonore) dans un écosystème (urbain) pouvait suivre les règles qui régissent celles de la nature, à savoir une organisation temporelle et fréquentielle de la communication inter- et intra- espèces afin d'assurer l'audibilité de chacune d'elles (voir également les travaux d'A. Gruson au § III.2.1.b, pour l'exposé de ce principe). Ainsi, à partir de la connaissance typo-morphologique des environnements urbains [Polack et al., 2008], la captation et l'analyse d'ambiances sonores représentatives ont fourni des éléments pour identifier des propriétés du son du VE favorables à son insertion et son émergence dans des conditions écologiques : du point de vue fréquentiel, nécessairement à partir de 200 Hz, principalement au-dessus de 1 kHz et spécialement autour de 5 kHz – sachant que ces valeurs correspondent aussi globalement à la zone de sensibilité maximale de l'oreille humaine ; du point de vue temporel, des composantes statiques en opposition avec la nature constamment variable du bruit de fond urbain (accélération, décélération, évènements ponctuels, etc.).

- **singulière** : le déficit de travaux de recherche et d'exemples sonores exploitables sur le sujet nous ont poussé à constituer une documentation extrascientifique *ad-hoc*, motivée par l'hypothèse que les conditions d'acceptabilité de ce nouveau son pouvaient être en partie influencées par une mémoire collective et un imaginaire commun forgés par la culture cinématographique. Ainsi, nous nous sommes intéressés au travail des *sound designers* qui ont imaginé le son des véhicules du futur dans des films d'anticipation ou de science-fiction : modules de courses (*podracer*) de « La Guerre des Etoiles – épisode 1 » (G. Lucas, 1999), Lola T70 de « THX 1138 » (G. Lucas, 1971), véhicules rétro-futuristes de « Gattaca » (A. Niccol, 1997) , voitures-volantes du « Cinquième Élément » (L. Besson, 1997), etc. Malgré les nécessaires précautions à prendre dans une démarche de ce type – on ne crée pas du son pour un objet filmé de la même manière que pour un objet réel –, l'analyse de cet "état de l'art" en design sonore permet néanmoins d'extraire des invariants : par exemple, l'utilisation de sons continus, denses (type *drone*), dont les qualités timbrales, notamment la masse spectrale, sont en accord avec les formes et les performances des véhicules considérés.

2) des **prototypes**, également multiples et de différentes natures :

- **fonctionnel** : le premier prototype conçu dans le cadre de ce projet a concerné les moyens de production et de restitution sonores. A partir des données définissant la technologie prévue en phase d'industrialisation, mais également en prenant en compte la donnée fortement interactive du problème – son non-stationnaire –, nous avons développé un prototype de "moteur sonore". Ce développement a été réalisé dans un environnement de travail audionumérique temps-réel (Max⁶⁵), simulant au mieux le module de production sonore spécifié dans le cahier des charges : une synthèse par lecture de table (lecture d'échantillons) possédant quatre mémoires parallèles, asservie en gain et en fréquence par la vitesse du véhicule (voir [Misdariis, et al. 2012] pour une description détaillée). De plus, ayant constaté un besoin de réalisme sonore lors des premières écoutes en stéréo, nous avons associé à ce "moteur sonore" un "moteur de rendu", constitué d'une quadriphonie et d'un processeur d'acoustique virtuelle (Ircam-Spat⁶⁶) permettant de simuler la trajectoire d'un véhicule électrique sonifié, le cas échéant, intégré dans un paysage urbain réel.

- **organisationnel** : en parallèle des aspects technologiques, l'environnement de travail "humain" a également fait l'objet d'un prototypage – au sens où, conçu pour l'occasion, il a revêtu un caractère expérimental – afin de gérer au mieux la collaboration sur la question du sonore avec toutes les personnes impliquées de près ou de loin dans le projet. Différentes voies de communication ont été mises en place et ont pris la forme de trois groupes de travail principaux : un comité de décision impliquant, à un niveau hiérarchique relativement élevé, les différents départements (Design, Produit, Ingénierie, Recherche) ; un comité expert impliquant les acteurs directs du projet (chef de projet IHM, pilote projet design sonore) ; et enfin, un comité technique impliquant les métiers de terrain relatifs à l'implémentation sur véhicule (acoustique, électronique, système embarqué). A l'intérieur de ce cadre, différents protocoles d'échange ont été instaurés. Pour le comité expert, par exemple, des interfaces d'écoute graphiques (figurant des espaces sémantiques d'évocation) et interactives (permettant de simuler la variation de vitesse) ont été développées afin de favoriser les itérations et les réactions rapides au sein du groupe (Figure 17).

⁶⁵ <https://cycling74.com>

⁶⁶ <http://forumnet.ircam.fr/fr/produit/spat/>



Figure 17. Interface d'écoute graphique et interactive permettant de proposer au comité de travail "expert", des propositions de signature sonore du véhicule électrique (Zoé) réparties dans un espace d'évocations (A. Cera).

- opérationnel : à un certain stade du projet, la nécessité de tester en contexte les solutions sonores est apparue cruciale, notamment pour évaluer l'adéquation entre la forme sonore et les caractéristiques formelles du véhicule – cette relation objet-son dont il a déjà été question précédemment –, mais également pour prendre la mesure de la dimension acoustique du problème (masquage, atténuation, filtrage dûs au compartiment moteur). Au fur et à mesure de l'avancement du projet, l'implémentation de ce prototype sonore hybride s'est opérée sur différentes générations de véhicule, de plus en plus proche de la version de série, notamment vis-à-vis de la caractérisation du haut-parleur (position, isolation, etc.) et du contrôle des résonances des éléments de carrosserie.

3) des protocoles d'évaluation dans trois domaines différents (utilisés pour sélection ou décision) :

- acoustique : à partir des enregistrements urbains collectés en phase initiale, et de l'analyse spectrale des propositions de signature sonore, nous avons pu confirmer objectivement le principe de complémentarité entre le fond (le bruit urbain) et la forme (la signature sonore), posé comme hypothèse de travail (cf. ci-dessus). Ainsi, nous avons pu faire une estimation quantitative du niveau d'émergence des signaux en calculant l'énergie acoustique située au-dessus d'un seuil fixé par rapport à l'énergie moyenne du bruit de fond urbain.

- perceptif : en parallèle à la caractérisation acoustique, des tests perceptifs ont été menés en fonction de deux critères principaux, la capacité des propositions à signifier la présence et à prévenir l'approche du véhicule. Un protocole expérimental basé sur une présentation audiovisuelle (une séquence unique d'arrivée/redémarrage à un passage piéton illustrée par différentes sonorités) et des échelles de jugement continues ont permis de produire des données perceptives qui, après analyses ont mis à jour des différences significatives entre certains sons vis-à-vis des deux critères étudiés.

- hédonique : sur une base expérimentale identique au test perceptif (support audiovisuel), des tests de verbalisation libre, d'appréciation hédonique, d'émotions ressenties et d'imaginaire évoqué ont également été menés – cette fois, par des experts en analyse sensorielle internes au constructeur. Les principaux résultats font apparaître : une série d'évocations globalement en accord avec les concepts établis préalablement à la création sonore, des appréciations marquées et différentes suivant des groupes socio-culturels (notamment homme / femme), des jugements émotionnels positifs mais dépendant là encore de groupes de population, et enfin, pour certaines propositions uniquement, une bonne adéquation entre le son et l'image représentative d'un véhicule électrique. Les tendances obtenues lors de ce test ont notamment eu pour conséquence de décliner les propositions suivant trois thèmes correspondant aux groupes d'utilisateurs identifiés.

4) un portage industriel qui a permis aux solutions finalement sélectionnées, d'être intégrées dans le processus de fabrication en série du véhicule et d'être déployées sur les Zoé commercialisées depuis mars 2013 (plus de 53 500 exemplaires immatriculés à ce jour⁶⁷). Cette opération de portage a nécessité de réaliser le schéma fonctionnel (*block diagram*) du prototype de "moteur sonore" afin qu'il puisse être traduit dans le langage approprié à la technologie embarquée en véhicule (microcontrôleur + mémoire Flash). Le résultat du portage a également fait l'objet d'une validation afin de s'assurer de la concordance entre les signaux produits par l'architecture prototype et ceux produits par le système industriel.

⁶⁷ <http://www.automobile-propre.com/dossiers/voitures-electriques/chiffres-vente-immatriculations-france/> (consulté en juill. 18)

L'ensemble de ce projet au long cours (3 ans) – y compris le travail effectué sur les *concept-cars* – a représenté un véritable laboratoire d'idées et d'actions dont le résultat est un objet de design sonore (la signature du VE), des outils et des méthodes, mais également une série de réflexions et de connaissances sur le design sonore lui-même : son statut, le statut de ses acteurs ainsi que de ses productions [Misdariis et al., 2017a]. En cela, nous pouvons à nouveau affirmer que ce projet de signature sonore du véhicule électrique peut être vu comme un bon exemple de « recherche par le design sonore » – ou de « recherche-projet » en design sonore [Findeli, 2004] (cf. § I.2). A la lumière de la formalisation de N. Cross [Cross, 2006], nous développerons ces questions dans la prochaine section (§ IV) afin d'alimenter la réflexion sur l'extension du cadre conceptuel de la discipline.

III.2.3 Actions pédagogiques

Au sein de l'institution Ircam, la pédagogie est, avec la recherche et la création, l'un des trois fondements de la relation art/science – « Coordination Acoustique/Musique » – portée par le projet de son fondateur, Pierre Boulez. A son niveau, la discipline du design sonore s'intègre dans ce schéma en participant à la transmission des connaissances, principalement grâce à deux actions : d'une part, des formations courtes à visée professionnelle (§ III.2.3.a), et d'autre part, la contribution au montage et à l'encadrement d'un cursus de second cycle en design sonore (§ III.2.3.b), à caractère professionnalisant mais ouvrant également, à terme, au développement de la recherche dans le domaine.

III.2.3.a Formation professionnelle en design sonore

Des stages de formation professionnelle sont dispensés, à l'Ircam, depuis plus de dix ans sur la thématique du design sonore en combinant à la fois l'exigence scientifique et la création artistique. Ils ont pour objectifs de proposer une approche théorique et pratique de la discipline, en mettant en œuvre la méthodologie de projet implémentée dans l'équipe PDS et en confrontant cette approche à la pratique de l'enseignement. Les sujets des stages se définissent autour de questions relatives à la forme et la fonction du son, voire plus récemment aux problématiques d'identité ou d'interactivité sonore.

La formation concerne en général une dizaine de personnes et se déroule sur 4 jours consécutifs. Elle contient plusieurs types d'apprentissage : des cours théoriques permettant d'acquérir des connaissances scientifiques de base, des travaux pratiques permettant de manipuler les principaux outils de montage, d'analyse, de transformation ou de synthèse des sons, et enfin, des sessions de projet mettant en œuvre un cas d'étude réel, généralement issu des projets de l'équipe (sons de climatiseurs, signalétiques sonores, sonneries de montre, objets sonores interactifs, identité de marque, etc.). Le stage comporte, par ailleurs, des ouvertures vers le monde professionnel extérieur en invitant des intervenants à présenter leurs pratiques et leurs projets (Bernard Delage, Roland Cahen, Alain Goudey, etc.). En outre, cette action pédagogique, coordonnée par le Dept Pédagogie et Action Culturelle (PAC) de l'Ircam⁶⁸, implique également la participation d'un Réalisateur en Informatique Musicale chargé d'enseignement (RIMce) qui partage son expérience avec l'équipe, assure les enseignements technologiques et contribue au suivi technique et artistique du projet.

III.2.3.b Cursus Design Sonore ESBAM

Le Dept Pédagogie et Action Culturelle de l'Ircam est également à l'origine de la participation de l'équipe PDS à la création d'un DNSEP Mention Design Sonore⁶⁹ (Diplôme National Supérieur d'Expression Plastique), valant grade de Master, dispensé à l'Ecole Supérieure d'Art et de Design TALM – Le Mans (Esad TALM, anciennement et couramment appelée Esbam – Ecole Supérieure des Beaux-Arts du Mans). En effet, il y a plus de dix ans, au sein de l'EPCC « Ecole Supérieure des Beaux-Arts – Tours - Angers - Le Mans », l'Esbam et l'Ircam, associée à l'Ensci (Ecole Nationale Supérieure de Création Industrielle) et au Laum (Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine), ont imaginé et monté un cursus universitaire dont l'objectif principal est d'assurer une formation supérieure diplômante et qualifiante préparant au métier de designer sonore et dont la démarche repose sur une double articulation : d'une part, artistique pour porter une véritable exigence esthétique et conceptuelle, et d'autre part, productive intégrant de multiples contraintes (fonctionnelles, techniques, économiques).

Cette formation, qui porte sur 2 ans et représente une promotion annuelle moyenne de 8 étudiants, couvre les domaines variés de connaissances scientifiques, méthodologiques et culturelles nécessaires à l'exercice du métier. Sa grille pédagogique comporte notamment des disciplines comme : histoire du

⁶⁸ <https://www.ircam.fr/transmission/>

⁶⁹ <http://lemans.esba-talm.fr/etudes/option-design-sonore/>

sonore, méthodologie du design sonore, techniques et pratiques audionumériques, perception et cognition de l'objet sonore, création sonore et acoustique / traitement du signal. La fin des études est marquée par un mémoire rédigé autour d'une question de recherche appliquée (p. ex., le son lo-fi, la musicothérapie, l'acceptation du design sonore, etc.) et un diplôme présentant une réponse plastique, formelle et fonctionnelle à une problématique conceptuelle en design sonore (p. ex., l'approche sensible de la cartographie sonore, une nouvelle invention de la relation image/son, la relation son/architecture et la délimitation des espaces, etc.).

En outre, la formation donne une place importante aux travaux en ateliers, aux projets personnels et à la mise en situation professionnelle. Parmi ces actions à caractère professionnel, un important *workshop applicatif* est organisé tous les ans et correspond à un moment pédagogique fort pour les étudiants (et les enseignants). En effet, en étroite collaboration avec un partenaire industriel apportant le cas d'étude, ce *workshop* consiste en une mise en situation réelle de l'ensemble des étudiants en design sonore de l'Esbam (1^{ère} et 2^{ème} années) et d'un groupe d'étudiants designers de l'Ensci, sensibilisés à la question du sonore et souhaitant explorer plus précisément cette matière de design. Les étudiants constitués en groupes réunissant des compétences mixtes (design / design sonore) proposent des solutions sous forme d'idées et de maquettes à la problématique posée, et présentée lors d'un *brief* par l'industriel. Les partenariats mis en place depuis le début de la formation ont été autant industriels (Sncf, PSA Peugeot-Citroën, société d'exploitation du tramway du Mans, RATP) qu'institutionnels (Radio France, Région Ile-de-France, groupement hospitalier Sainte-Anne).

Réalisation d'une œuvre de design sonore à la Maison d'Ile-de-France

L'intérêt du *workshop applicatif* réside également dans le fait qu'il vise des prolongements d'étude et des réalisations concrètes d'idées émises dans ce temps restreint (15 jours). Dans ce cas, même si son caractère est plus diffus, l'action pédagogique se prolonge aussi par l'encadrement (à plus grande distance) d'un groupe d'étudiants / ex-étudiants volontaires pour mener le projet jusqu'au bout. Ce fut le cas, par exemple, lors de l'édition 2014 du *workshop* portant sur le design sonore de la Maison d'Ile-de-France⁷⁰, en partenariat avec la Région Ile-de-France (maitrise d'ouvrage), l'agence d'architecture Nicolas Michelin & Associés (maitrise d'œuvre) et la Cité Internationale Universitaire de Paris (CIUP).

La Maison d'Ile-de-France, l'une des dernières résidences étudiantes construites dans l'enceinte de la CIUP, est implantée dans la partie sud, en bord de périphérique. C'est une architecture à énergie positive, c'est-à-dire qu'elle produit l'énergie nécessaire à la consommation courante de ses habitants/résidents. Toute la problématique du bâtiment est donc de gérer une balance énergétique entre production entrante et consommation sortante, qui, de manière autonome, doit toujours rester positive. Les habitants sont donc mis au cœur d'une logique de développement durable et passent du statut de "simples" utilisateurs à celui d'acteurs principaux et éco-responsables. Dans ce contexte, l'art et le design sonores sont considérés comme outils de sensibilisation écologique, en apportant des solutions opérationnelles pour faciliter l'usage et la compréhension du fonctionnement énergétique du bâtiment. Les deux principaux enjeux de l'intégration du son dans ce projet étaient donc les suivants :

- rendre visible l'énergie afin d'informer de manière sensible les habitants à l'état énergétique de leur lieu de vie, dans le but de leur faire comprendre comment agir.
- incarner le bâtiment en utilisant la métaphore de l'organisme vivant dans lequel l'énergie transite en circuit fermé et dessert les différents espaces/cellules de vie (chambres, parties communes, etc.), dans le but d'éveiller la conscience des résidents et de leur donner l'intention d'agir sur leurs comportements.

A l'issue de la période de *workshop* initial, le partenaire a retenu l'idée d'une information sonore délivrée à l'entrée du bâtiment, en lien avec des données techniques issues de la centrale de production d'énergie (consommation courante, état des réserves, etc.). La poursuite de cette idée (et donc de ce *workshop*) a impliqué trois jeunes diplômés de l'Esbam (Thomas Rotureau, Benoit Villemont et Arnaud Ouin) regroupés pour l'occasion dans un collectif d'artistes, Menure⁷¹. Sur la base de plusieurs propositions issues du *workshop*, ils ont mené – pendant plus d'un an – un travail de conception/réalisation dont le résultat se présente sous la forme d'une installation sonore pérenne, interactive et didactique, « *Piezoplex* », installée dans le hall d'accueil, et informant les résidents grâce à une syntaxe sonore et spatiale utilisée pour former différents tableaux représentatifs de différentes situations énergétiques (Figure 18).

⁷⁰ <http://www.ciup.fr/oblique-slider/la-maison-de-lile-de-france-un-batiment-zen-72835/>

⁷¹ <http://menure.fr>



© Région île-de-France – inventaire général / Photo Philippe Ayrault

Figure 18. Vue du dispositif *Piezoplex* installé dans le hall d'entrée de la Maison d'île-de-France de la Cité Internationale Universitaire de Paris. La structure, constituée de 476 haut-parleurs piezo-électriques, déploie une syntaxe sonore et spatiale représentant différents états énergétiques du bâtiment (Crédit : CIUP / Région IdF)

La phase de conception a d'abord conduit à produire plusieurs déclinaisons de l'idée de départ selon différentes orientations esthétiques et techniques – notamment vis-à-vis de la diffusion sonore (transducteur, haut-parleur, etc.). Elle a ensuite consisté à prototyper et maquetter la solution retenue afin de valider les aspects de forme (utilisation de matériau type plexiglass, compatible avec les contraintes architecturales et réglementaires) et de fonction (utilisation de haut-parleurs de type piezo-électriques, compatibles avec des contraintes de bande-passante et de niveaux sonores acceptables). Cette première phase a abouti à la rédaction – avec l'aide de la maîtrise d'œuvre – d'un Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) préalable à un appel d'offres de marché de travaux visant la réalisation du projet.

La phase de réalisation a mis en place une collaboration avec l'Atelier de Prototypes pour l'Investigation Scientifique⁷² (APIS), choisie – par le maître d'ouvrage, à l'issue de l'appel d'offres – pour fabriquer le dispositif conçu par le collectif Menure. Cette réalisation a été effectuée sous la supervision de Menure et grâce aux compétences de l'atelier APIS, notamment en termes de calcul des structures, réglementation technique, mais aussi électronique/informatique, pour développer le protocole de communication et la conversion des données entre le bâtiment et le dispositif *Piezoplex* (collaboration avec la structure *Robotswim*). L'atelier APIS a également assuré le montage et la mise en route *in situ* de l'installation sonore qui fonctionne de manière autonome depuis octobre 2017.

En conclusion, ce projet de prolongement de l'action du workshop applicatif a permis aux jeunes designers sonores du collectif Menure d'être confrontés à la réalité, tout en restant dans un cadre pédagogique capable de leur apporter les soutiens nécessaires aux moments voulus. Autrement dit, ils ont acquis une première expérience professionnelle dans un contexte de support et d'accompagnement qui leur a permis d'aborder les points critiques d'un tel projet (technique, artistique, juridique, humain, etc.) avec une certaine sécurité. Le résultat d'une telle démarche est non seulement une œuvre de design sonore (le *Piezoplex*), mais aussi des designers sonores ayant acquis des connaissances "de terrain" indispensables au développement de leur métier. En cela, cette expérience de suivi répond aux exigences de professionnalisation de la formation dispensée à l'Esbaam et mérite d'être renouvelée et généralisée.

⁷² <http://www.reseau-apis.fr>

IV. Extension du domaine du design sonore

La proposition d'élargissement du cadre théorique du design sonore part d'un double constat. D'une part, le fait que la méthodologie originelle (analyse – création – validation) freine potentiellement la production de solutions inédites – ou "inouïes" – et s'avère parfois difficilement applicable en contexte réel, comme dans le cas de figure emblématique du son du véhicule électrique (§ III.2.2.b). Et d'autre part, du fait de l'existence d'autres modèles de conception qui nous semblent éventuellement pertinents pour « restituer la complexité et la richesse du processus de design » sonore [Vial, 2015a]. Plus largement, cette extension du domaine du design sonore a principalement pour objectif de comprendre et fédérer cette discipline polymorphe par nature et régie par des définitions multiples. Elle vise aussi à comprendre et clarifier la distinction qui s'opère parfois entre création / composition musicale (design musical) et création / conception sonore (design sonore). Elle s'intéresse, par extension, aux mécanismes de créativité, ainsi qu'à leurs outils et méthodes associés, qui sous-tendent l'activité du design sonore et qui en font une discipline singulière : ne relevant ni vraiment de la composition musicale traditionnelle, ni des techniques d'ingénierie sonore pures. Au final, cette démarche originale cherche à explorer l'existence potentielle d'une « *designerly way of knowing, thinking and acting* » [Cross, 2001] également dans le domaine du design sonore.

Les moyens mis en œuvre pour y parvenir consisteront à s'insérer dans le courant de la recherche en design apparu depuis une cinquantaine d'années. Notamment, en transposant les paradigmes originaux établis et formalisés, entre autres, par N. Cross [Cross, 2006], nous pourrions envisager une perspective de recherche de savoir en design sonore – de "**sciences du design sonore**" – et poser un cadre conceptuel et épistémologique à l'étude du design sonore qui s'articulerait autour de trois axes : les « personnes » (*people*), les « procédés » (*processes*), les « produits » (*products*). La section qui suit (§ IV.1) illustre et explore ces trois lieux de recherche (« *research loci* »), sous la forme d'une **proposition de projet programmatique** et manifeste.

IV.1 Sciences du design sonore

Le concept de « sciences du design sonore » s'inspire donc directement de celui de sciences du design porté historiquement, et entre autres, par B. Archer et N. Cross (cf. § I.2), ou plus récemment par S. Vial et A. Findeli, comme l'atteste la constitution de la revue de recherche scientifique en design, *Sciences du Design*, qui « repose sur le postulat de l'originalité épistémologique du design, considéré non seulement comme profession mais aussi comme discipline ». La démarche qui accompagne cette revue pose des questions fondamentales : « Que peuvent être les sciences du design ? Quel est leur objet ? Quelles en sont les limites ? Comment penser la nature et les formes de la recherche en design ? » [Vial et Findeli, 2015]. Ce questionnement, transposées à la question du sonore, pourra nous servir à imaginer et concevoir une extension du domaine du design sonore en lui donnant une dimension plus générique et en repoussant les limites de nos connaissances du domaine.

Ainsi, en partant spécifiquement des principes originaux de Cross et en s'appuyant sur sa taxonomie de la recherche en design [Cross, 2006], nous pourrions envisager de développer et d'articuler des savoirs en design sonore à partir de trois principales sources d'étude :

- les **personnes** (« *people* ») ; qui étudiera l'aptitude humaine à faire du design sonore notamment au moyen d'analyses méthodologiques des pratiques ou de réflexions sur le statut de l'auteur / designer sonore, en lien avec la notion d'auctorialité (*authoriality*).
- les **procédés** (« *processes* ») ; qui étudiera les stratégies de design sonore et questionnera le statut du design sonore lui-même – simple technique spécialisée de production du son ou véritable art sonore appliqué ? (cf. § I.1) – en s'intéressant notamment aux méthodes et outils auteurs (*authoring tools*), à la question des prototypes (esquisses, maquettes, modèles réels ou virtuels, objets intermédiaires, etc.), et de manière plus générale, aux mécanismes de créativité et de fixation.
- les **produits** (« *products* »), qui étudiera le statut (scientifique, artistique, juridique, etc.) et la paternité (*authorship*) des œuvres produites par le design sonore, et s'interrogera notamment sur le renouvellement de leurs formes, de leurs formats ainsi que sur les nouvelles situations de diffusion, d'écoute et les relations auteur / auditeur inédites qu'elles induisent.

A cette structure, dans la continuité des axes d'étude suggérés au paragraphe précédent et conformément à l'analyse par Vial du « périmètre exact du "savoir en design" » [Vial, 2015b], s'ajoute naturellement « le régime de réception » de l'objet de design, sur la base du modèle original « *Conception – Réception* » d'A. Findeli (cité dans [Vial, 2015b]). En fait, ce modèle pose – et élargi – le cadre de la recherche en design en adressant à la fois des questions relatives aux sciences de la conception, au « geste de design », mais également des questions relatives aux sciences humaines et sociales, à l'« effet de design ». Pour le design sonore, cette dimension réceptive s'identifie pleinement à l'introduction de la psychoacoustique et des sciences cognitives dans les chemins de réflexion sur la discipline (cf. l'évolution de l'équipe PDS - § III.1) et s'incarne, entre autres, dans des études sur l'intensité perçue (sonie), la saillance perceptive, la gêne ressentie, ou bien encore sur l'acceptabilité ou l'intrusivité des sons.

Partant de là, cette extension du domaine du design sonore s'intéressera en particulier à l'existence de nombreux modèles de conception. En effet, au delà d'une instance « simple » comme celle de D. Quarante [Vial, 2015a] qui distingue la phase de conception (étude de faisabilité, recherches préliminaires) et la phase de réalisation (prototypage, fabrication, évaluation), il existe un grand nombre d'autres modèles, à différents niveaux de complexité et de linéarité, qui peuvent potentiellement permettre de décrire les étapes typiques d'un projet de design sonore et notamment les processus de créativité qui y sont mis en oeuvre.

Cette multitude de modèles est décrite de manière relativement exhaustive dans le travail de Hugh Dubberly [Dubberly, 2004] qui recense plus d'une centaine de processus de design (et de développement), dans des domaines aussi différents que l'architecture, le design industriel, la gestion de la qualité ou le développement informatique. Outre la description des méthodes en elles-mêmes, l'objectif du travail de Dubberly consiste à mettre en évidence leurs analogies et différences, et plus généralement, à ouvrir le débat sur des questions relatives à la manière de faire du design, ou bien à l'interaction entre minimisation du risque (d'échec) et maximisation de la créativité – qui pourrait se traduire par la dualité entre rationalisme/systématisme et intuition/improvisation.

Dans cette liste, on trouve notamment : une catégorie « *Analysis – Synthesis – Evaluation* » qui comprend des modèles de type divergence – convergence, à la base du modèle en "Double Diamant" du Design Council⁷³ ; une catégorie « *Cyclic* » où l'on retrouve les mécanismes de boucle (*loop*) et de rétroaction (*feedback*) qui structure en partie l'approche *Design Thinking* [Brown, 2008] (cf. § IV.1.2.c) ; une catégorie « *Complex linear* » qui inclut la procédure de design basique (*basic design procedure*) de B. Archer déployant globalement trois étapes principales – analytique (expérience, collecte de données), créative (analyse, synthèse, développement) et exécutive (communication) ; ou bien encore une catégorie « *Academic* » qui présente le plus souvent des modèles hybrides – développés à des fins d'enseignement – comme le « *four stage design process* » de N. Cross qui comprend quatre étapes (Exploration, Génération, Evaluation, Communication) ainsi qu'une boucle de rétroaction (entre Génération et Evaluation). Cela étant, et malgré la richesse des données rassemblées par Dubberly, certaines approches dignes d'intérêt sont néanmoins absentes de ce panorama, comme le « *design squiggle* » de Damien Newman⁷⁴ qui présente la particularité d'être fortement non linéaire, voire chaotique, (Figure 19) mais qui de fait, peut se révéler pertinent pour décrire certaines démarches singulières en design, et par extension, en design sonore.

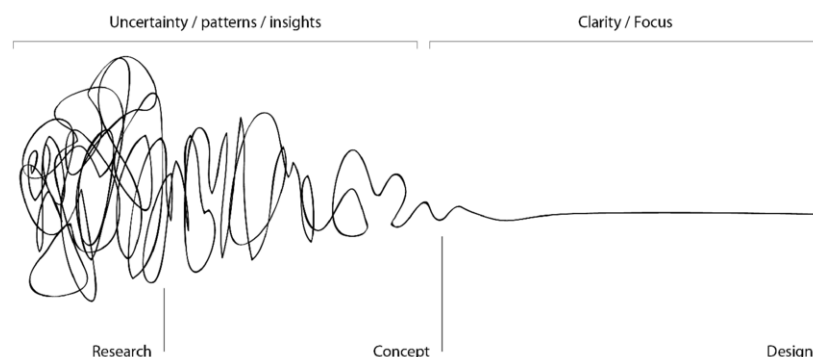


Figure 19. Modèle de conception de type « *design squiggle* » formalisé par Damien Newman (Crédit : Researchgate⁷⁵)

⁷³ <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/design-process-what-double-diamond>

⁷⁴ <https://revisionlab.wordpress.com/that-squiggle-of-the-design-process/>

⁷⁵ https://www.researchgate.net/figure/Damien-Newmans-squiggle-representing-the-design-process-CC-BYND_fig2_326311558

Les trois prochaines sections (§ IV.1.1 à IV.1.3) sont ainsi structurées suivant les trois lieux principaux de recherche en design définis par N. Cross : *people, processes, products*. Elles constituent un **apport personnel** à certaines des problématiques spécifiques (cf. ci-dessus) sous forme d'études préliminaires (mise en œuvre, collaboration ou suivi), de projets en cours de montage, ou bien encore de simples pistes personnelles ou collectives de réflexion et de prospective.

IV.1.1 Etude des « personnes » : statut du designer sonore

Nous introduisons cette section par des éléments d'analyse relatifs au statut de l'auteur issus des enseignements tirés du projet de signature sonore du véhicule électrique (cf. § III.2.2.b). Nous la complétons par des données d'études antérieures relevant, d'une part, d'une analyse des besoins en design sonore (Hug et Misdariis – § IV.1.1.b), et d'autre part, de la constitution d'un référentiel métier (Collet – § IV.1.1.c). Nous y ajoutons enfin des éléments prospectifs contenus dans le projet récemment retenu par le LabEx CAP (Création – Arts – Patrimoine)⁷⁶, portant sur l'analyse des pratiques du design sonore (§ IV.1.1.d).

IV.1.1.a Statut du designer sonore : retour d'expérience

L'étude en design sonore pour le véhicule électrique (VE) a mis en lumière les caractéristiques d'ouverture, de pédagogie et d'effacement – ou de modestie – qui ont été nécessaires à l'auteur (A. Cera) pour réaliser ce projet [Misdariis et Cera, 2017a ; 2017b]. Dans un tel contexte d'interactions humaines et de problématiques techniques complexes, la question de la place laissée à la créativité, à l'initiative et, finalement, au statut d'auteur, s'est naturellement posée et imposée à la réflexion. Elle peut se résumer ainsi : quel rôle pour le designer sonore au sein d'un groupe de personnes à la fois contributrices et décisionnaires du processus de design sonore et de son résultat ?

Sur ce point, l'expérience du véhicule électrique nous a apporté des enseignements sur des postures et attitudes positives et favorables à la conduite d'un projet d'une telle envergure :

- l'ouverture, incarnée par la capacité à créer de multiples versions d'une même idée afin de répondre à toutes les sensibilités exprimées autour de cette idée – cette faculté d'empathie allant jusqu'à mettre en veille des convictions personnelles afin de faire émerger de nouvelles dimensions esthétiques ou fonctionnelles, liées à un contexte d'usage particulier. Ce cas de figure s'est notamment présenté avec la manipulation des sons à caractère impulsif (cliquetis) : élément de signalétique, de localisation et le cas échéant, d'ornementation efficace pour le design sonore, mais en revanche, généralement synonyme de défaut, de dysfonctionnement ou de mauvaise qualité pour le 'métier' automobile.
- la pédagogie, incarnée par la capacité à produire des esquisses pour démontrer par le sonore le degré de pertinence d'un concept. Par exemple, l'idée – venue de plusieurs horizons – de réaliser une signature sonore à caractère musical nous a obligés à produire et prototyper des "logos" musicaux pour le VE. L'écoute de ces propositions en contexte a forcé les différents groupes de travail à se rendre à l'évidence de l'incongruence de l'idée sans que cela n'ait été imposé *a priori* au moment de la création.
- l'écoute et l'effacement (dans une certaine mesure) qui résultent des deux précédentes attitudes et qui garantissent que tous les avis du collectif soient pris en compte et toutes les questions soulevées soient traitées avec la même attention.

IV.1.1.b Analyse des besoins

L'apport de Daniel Hug lors de sa visite d'étude (*Short-Term Scientific Mission* du projet SID – § III) a permis d'initier un travail d'observation et d'analyse des besoins et méthodes de travail en design sonore. Dans la lignée du questionnaire de N. Cross sur la pratique de design (« *How designers think and act ?* ») mais surtout selon les principes de la *Grounded Theory* [Corbin et Strauss, 1990] (voir aussi [Masson, 2009 - pp.63-67]), l'un des objectifs de cette étude a consisté à acquérir et codifier des connaissances sur le point de vue de designers sonores professionnels (ou assimilés), leurs contraintes et les obstacles rencontrés lors du processus de design sonore, notamment dans le cas d'un objet à forte composante interactive [Hug et Misdariis, 2011].

Concrètement, les grandes lignes de cette recherche ont été :

- un questionnaire de praticiens (ou connaisseurs) de la discipline sur des thématiques telles que l'esthétique, la notion de qualité, les stratégies d'évaluation ou la pertinence des outils de facture du son par rapport aux contraintes de design sonore, et *a fortiori*, de design sonore d'interaction.

⁷⁶ <http://labexcap.fr>

- l'achèvement d'un cadre de travail conceptuel, préalablement établi par Hug, sous la forme d'une typologie de descripteurs sémantiques et iconographiques portant sur la nature de l'objet (classique, étendu, substitut, etc.), sa mise en contexte (statut social, niveau de familiarité, type d'usage, etc.) ainsi que sur la scénarisation de ses interactions au moyen d'éléments baptisés « *metatopics* » (qualité de l'usage ou du contrôle, mécanismes de transformation, structure temporelle, etc.) [Hug, 2008 ; 2010].
- l'évaluation de cet environnement conceptuel par des séances de travaux pratiques (*hands-on session*) portant sur un cas d'étude hypothétique : un sac intelligent et interactif (recharge, sauvegarde, mise à jour, protection des données, ... d'un smartphone) – l'analyse de l'utilisation de ces concepts par des praticiens permettant d'émettre des hypothèses sur l'expression des besoins en design sonore, nécessaires à l'amélioration des pratiques et à l'émergence de la créativité.

Nous détaillons ici uniquement la première phase du projet en synthétisant les principaux résultats d'analyse des données recueillies à l'issue des entretiens semi-structurés soumis à huit experts en création musicale ou sonore (designers, compositeurs, réalisateurs en informatique musicale, musicologues) et restitués par D. Hug dans son rapport scientifique (voir aussi son rapport d'interviews⁷⁷). Il ressort de cette analyse les catégories principales suivantes :

→ qualité : une notion centrale et primordiale dans la pratique du design sonore qui ne se réfère pas uniquement à la qualité technique de la production sonore mais s'étend à la notion de complexité et de raffinement du son '*designé*'. Qui plus est, négliger cette dimension de qualité, et ne considérer que les aspects fonctionnels et informatifs d'un son, ne définissent a priori pas une démarche holistique de design sonore. Dans le même ordre d'idées, déterminer les propriétés (qualités) acoustiques d'un son par le seul biais de l'expérimentation ou des connaissances scientifiques ne peut être réellement considéré comme du design sonore à part entière.

→ esthétique : l'esthétique – ou le style – d'un créateur sonore s'avère nécessaire pour entreprendre une démarche caractéristique de design (*designerly approach*). Cela étant, force est de constater que la discipline ne semble pas encore vraiment mature pour distinguer différents styles de design sonore propres à des personnes ou des agences (même si la paternité de certaines productions peut être reconnaissable, dans certains cas – voir à ce sujet, par exemple, les similitudes des logos Renault⁷⁸ et SnCF⁷⁹ récemment réalisés par l'agence *Sixième Son*).

→ identité : l'identité d'un son – et non l'identité sonore – est également une composante importante dans la construction de sens entre le son lui-même et la personne qui l'entend. En d'autres termes, véhiculer du sens par le son nécessite d'aller au delà d'un lien direct entre signifiant (le son) et signifié (la donnée) et requiert la construction d'un caractère, d'une identité, à part entière.

→ familiarité : la sensation de familiarité – *i.e.* de 'déjà entendu' – d'un son est largement dépendante de son identité et peut être soit explicite, soit implicite. Dans le cas explicite, des principes de causalité ou de réalisme sont le plus souvent appliqués en déployant des solutions de type iconique ou indexical qui mettent en œuvre l'un des ressorts fondamentaux du design sonore : partir de la réalité et la distordre tout en conservant le sens et la qualité.

→ interactivité : l'interactivité naît d'un dialogue entre deux systèmes (humains ou non) entretenant des interactions de type action <-> son. Dans ce domaine, deux grandes problématiques émergent : d'une part, la synchronisation entre l'action et le retour sonore qui peut, dans certains cas, ne pas s'avérer nécessaire (cf. la relation images/sons, au cinéma) ; et d'autre part, l'adaptabilité, c'est-à-dire l'ajustement des propriétés sonores en fonction du contexte d'usage, qui fait partie des futures explorations incontournables en matière de design sonore d'interaction.

→ technologie : l'impact de la technologie et des techniques de synthèse sur le processus de design sonore, et en particulier sur la dimension esthétique, semble faible dans la mesure où l'une des compétences du designer sonore réside dans sa capacité à s'affranchir des empreintes techniques pour atteindre un objectif de qualité sonore, quel que soient les outils utilisés. Certaines approches de synthèse (granulaire, modélisation physique) paraissent néanmoins plus marquées esthétiquement que d'autres (additive, soustractive, modulations, etc.). En particulier, la modélisation physique apparaît comme un puissant moyen d'exploration de la matière sonore à partir de l'extension d'un modèle physique 'naturel'.

→ discipline : le design sonore en tant que discipline (et profession) paraît bien établi dans le milieu du cinéma ou du jeu vidéo. Cependant, ce statut semble moins clair lorsqu'il s'agit de considérer des domaines comme le design industriel, le design de produit ou le design de marque – même si ce dernier semble être en voie de développement. Le manque de cohérence du statut provient notamment d'un

⁷⁷ <https://hearmeinteract.wordpress.com/category/stsm-ircam/>

⁷⁸ <https://soundcloud.com/sixieme-son-design-musical/renault-audio-dna>

⁷⁹ <https://soundcloud.com/sixieme-son-design-musical/sets/identite-sonore-sncf> (de 0:00 à 0:03)

manque de formation, et par extension, de sensibilité au son dans la société. Cette conclusion est, néanmoins, à relier aux actions récentes de Christian Hugonnet qui, sur la base de la charte de la Semaine du Son, a contribué à l'adoption par l'Unesco de la résolution : « l'importance du son dans le monde actuel : promouvoir les bonnes pratiques »⁸⁰.

→ compétence : la compétence indispensable du designer sonore est sans conteste l'écoute, et plus précisément l'écoute réduite, c'est-à-dire l'écoute du son pour lui-même et non par rapport à sa source ou son sens [Schaeffer, 1966]. En outre, le designer sonore doit pouvoir comprendre (et concevoir), non seulement les propriétés acoustiques, mais aussi les propriétés émotionnelles des sons. Enfin, l'expertise musicale est bien sûr nécessaire, notamment dans le rapport à l'écoute et la composition des sons entre eux, mais pas suffisante – tous les compositeurs / musiciens professionnels ne sont pas forcément de bons designers sonores !

→ méthodologie : en règle générale, l'intuition et l'expérience – voire l'improvisation [Hug, 2010] – jouent un grand rôle en design sonore, même si des démarches systématiques et structurées s'avèrent de nécessaires, notamment pour répondre à la complexité croissante des projets. La phase d'analyse doit s'intéresser à des aspects autant acoustiques/psychoacoustiques que psychologiques ou socio-culturels mais ne répond pas toujours aux enjeux d'interprétation haut niveau du problème ; quoi qu'il en soit, elle doit s'intégrer dans une méthodologie rigoureuse, mais parfois difficile à mettre en œuvre.

→ prototype : représenter des idées sonores ou formuler un concept s'avère cruciale mais problématique. Les méthodes généralement employées vont de la planche de tendance sonore (*sonic moodboard*) à la simulation acousmatique du contexte sonore, en passant par des échantillons 'prototypes' issus des recherches. La capacité à écouter des esquisses sonores varie largement suivant les interlocuteurs et peut nécessiter des étapes d'apprentissage ou d'entraînement.

→ outils : les outils pour le design sonore doivent être mutuellement compatibles et facilement contrôlables afin de fournir un flux de travail (*workflow*) efficace, productif et créatif (ne pas refaire ce qui a déjà été fait). En outre, la nécessité d'un outil d'aide à la décision – faisant le lien entre les concepts et leur incarnation sonore – s'avère cruciale. Cet outil pourrait intégrer une fonctionnalité de gestion de l'historique de conception (comme il en existe pour le code informatique), afin notamment de pouvoir revenir sur des versions antérieures de proposition. Pour le design d'interaction sonore, la notion d'interface de contrôle semble primordiale pour définir des morphologies sonores, de la manière la plus ergonomique possible.

IV.1.1.c Éléments de référentiel

En préalable à l'élaboration de la maquette pédagogique du Master Design Sonore de l'Esabam (cf. § III.2.3.b), une étude sur la définition du métier de designer sonore a été effectuée, en 2009, par Xavier Collet⁸¹, afin de contribuer à l'habilitation de la formation auprès du Ministère de la Culture (renouvelée depuis⁸²). Cette mission avait pour principaux objectifs : l'élaboration d'un référentiel d'activités et de compétences du designer sonore, l'identification des champs professionnels de la discipline, ainsi qu'un premier recensement des acteurs du design sonore en vue de la constitution d'un réseau professionnel (indépendants, agences, entreprises/industries, laboratoire de recherche).

La méthode employée a consisté en une série d'entretiens semi-directifs auprès d'une dizaine de professionnels représentatifs des différents secteurs d'activité de la discipline. Elle a nécessité l'élaboration d'un questionnaire, conçu en collaboration avec l'équipe PDS. Ce travail méthodologique a été conduit à partir de trois motivations principales : prendre en compte tous les champs d'activité de la discipline, dégager des éléments généralisables (invariants) à l'ensemble de la profession, rendre compte de la singularité des pratiques propres à un domaine en particulier. Ainsi, à l'issue d'une construction collective et itérative, le questionnaire comporte 53 questions ouvertes, ou semi-ouvertes, organisées en 5 grandes parties : I. Généralités ; II. Pré-requis ; III. Contexte ; IV. Activités ; V. Déroulement des projets. L'entretien en lui-même s'est déroulé soit lors d'une entrevue directe (durée moyenne, 1 heure), soit lors d'un échange par mail (pour un tiers des interviewés).

Les résultats de ce travail se composent d'une série d'enregistrements audio ou de réponses écrites aux entretiens, d'une synthèse des *verbatim*, d'un rapport sur le métier (définition, champs professionnels, contexte, enjeux), d'un référentiel métier (activités, compétences, interactions professionnelles, et évaluation des risques) et enfin de l'ébauche d'un annuaire professionnel (entreprises par champs d'activité et contacts).

⁸⁰ <http://www.lasemaineudson.org/la-resolution-39c-49-de-l-unesco-adoptee-le-31-octobre>

⁸¹ <http://xaviercollet.com>

⁸² <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000034897299>

En conclusion de cette étude, et suivant les différents aspects qu'elle a tenté d'aborder, nous pouvons extraire du rapport de X. Collet, les points de résumé suivants (qui corroborent partiellement certains éléments de définition du § I.1)

- le design sonore se définit par une création sonore appliquée. Il est le produit d'une tension entre des contraintes fonctionnelles / techniques et une exigence esthétique. Il se pratique dans tous les domaines où penser le son s'avère nécessaire : industrie, urbanisme/architecture, multimédia, publicité, médias, arts (cinéma, théâtre, installations, ...).
- le design sonore opère selon trois modes d'interaction principaux : le stimulus-réponse, le *feedback* et l'induction, influant sur l'état émotionnel.
- le contexte du design sonore comprend les principaux éléments suivants : une confusion terminologique et un périmètre de pratiques mal défini, un milieu professionnel éclaté et hétérogène, une faible prise de conscience du sonore dans la société (aussi bien vis-à-vis de ses nuisances que de ses potentialités). Mais il s'agit néanmoins d'une discipline en développement, portée par des facteurs comme l'apport du son en termes de performance ou de confort, la saturation des moyens de communication qui oblige à repenser le rôle spécifique de chaque modalité sensorielle (vue, ouïe, etc.), les exigences croissantes d'accessibilité pour les personnes déficientes ou âgées, la « déréalisation » de notre environnement quotidien et l'entrée dans l'ère de « l'informatique ambiante ».
- les défis à venir du design sonore résideront principalement dans le fait d'éclaircir la terminologie associée à la discipline, de renforcer sa légitimité par des actions méthodologiques et pédagogiques, et de fédérer les acteurs de la profession en créant des liens entre les différentes pratiques.

IV.1.1.d Analyse des pratiques

A la faveur d'un projet déposé (et récemment obtenu) à l'appel à projet du LabEx CAP⁸³ (Laboratoire d'Excellence « Création Arts Patrimoine »), nous initiions en 2018 un travail sur l'analyse des pratiques du design sonore (APDS), en collaboration avec Frank Pecquet (Institut ACTE/Panthéon-Sorbonne) et Nicolas Donin (équipe Analyse des Pratiques Musicales⁸⁴ /Ircam).

En adoptant une approche inspirée de la recherche en design, mais également en se référant à des travaux antérieurs sur le cas d'étude similaire des RIM – Réalisateurs en Informatique Musicale (cf. ci-dessous), le projet se focalise sur les principaux acteurs de la discipline, les designers sonores, au travers de l'analyse de leurs pratiques suivant différents points de vue (artistique, musicologique, socio-culturel, technique, écologique, scientifique). Au moyen d'études de terrain multiples et variées (questionnaire, interviews, etc.), le projet vise à comprendre les processus créatifs du design sonore, en constituer des connaissances historiques et, parallèlement, en mesurer les enjeux actuels d'un point de vue artistique, technique et scientifique.

Dans le cadre général des sciences du design sonore (cf. § IV.1), ce projet s'inscrit pleinement dans le premier axe du programme de recherche, s'intéressant donc plus particulièrement aux "personnes" (*people*) et constituant ainsi une étape indispensable pour comprendre et conceptualiser les pratiques de la discipline. Cette démarche s'opère grâce à une investigation directe auprès des praticiens suivant différents angles de vue : formations initiales, compétences requises, méthodes et moyens de travail, périmètre d'action / champ d'application, cadres contractuels, modes de diffusion, etc. D'un point de vue général, les ambitions initiales du projet sont de :

- faire l'inventaire des institutions, des entreprises, des individus (en résumé, des lieux) où s'opère le design sonore, afin d'en établir une cartographie au niveau national, européen, et international ;
- constituer un outil de recherche *ad hoc* (questionnaire, entretien, suivi de travail, etc.) du/des métier(s) du design sonore et le valider sur des individus ou des thématiques cibles ;
- réaliser la collecte et l'analyse des données afin d'extraire des points communs et des singularités permettant de structurer la connaissance sur ces pratiques ou groupes de pratiques, répondant ainsi, du moins partiellement, aux ambitions de définition du périmètre de la discipline ;
- constituer une base de données ouvertes des résultats afin qu'ils puissent être consultés, exploités ou enrichis par d'autres projets ou approches complémentaires ;
- profiter de ce travail de recensement pour fédérer la communauté au moyen d'une plateforme d'échanges pouvant servir d'outil d'information et de base de travail pluridisciplinaire sur la production, recherche, création en design sonore.

⁸³ <http://labexcap.fr/micro-projets/analyse-des-pratiques-du-design-sonore/>

⁸⁴ <http://apm.ircam.fr>

La méthodologie employée dans le projet APDS s'inspire d'une étude similaire menée à propos d'un autre groupe professionnel émergent dans le domaine de la musique et du son : les Réalisateur·e·s en Informatique Musicale [Zattra et Donin, 2016]. Elle s'alimente également d'études pionnières dans le domaine du design sonore qui observent la discipline, de manière quasi-ethnographique, à partir de ses acteurs et de leurs pratiques [Delle Monache, 2016 ; Hug et Misdariis, 2011]. Il en résulte une démarche d'investigation en deux grandes étapes :

1. une approche "agnostique" sous la forme d'une enquête large visant à élaborer une cartographie des lieux où le design sonore est professionnellement produit, académiquement enseigné ou scientifiquement étudié. L'outil utilisé est un questionnaire, relativement court, envoyé par courrier électronique, ou tout autre vecteur de communication adossé aux réseaux sociaux, et ciblé sur des personnes préalablement identifiées, susceptibles de le propager dans leurs propres réseaux afin de toucher des personnes situées en dehors du radar du projet.

2. une interview plus consistante, réalisée en entretien direct avec des personnes choisies délibérément en fonction de leur notoriété, leurs travaux en cours ou leur rattachement à un domaine particulier – par exemple, le design sonore au cinéma, dans la muséographie ou le marketing.

A l'époque de rédaction de ce mémoire, l'état en cours du projet – démarré en mars 2018 et animé par les trois instigateurs initiaux ainsi que deux autres chercheur(e)s, Laura Zattra et David Fierro – peut se résumer par les actions principales suivantes :

✓ la mise en route d'une réflexion conceptuelle et collective sur la définition du sujet même du projet : le design sonore. Cette question, non triviale (cf. § I.1), est instruite par une recherche bibliographique récurrente ciblant des citations et des références dans de nombreux domaines tels que le cinéma, le théâtre, l'industrie, l'écologie, les sciences, etc.

✓ la tentative de recensement des acteurs du design sonore par la constitution d'une base de données, structurée en grandes catégories d'organisation de travail (indépendants, agences, entreprises, laboratoires ou écoles privées, institutions publiques de recherche ou d'enseignement, etc.) et alimentée conjointement par : les réseaux propres des membres/équipes du projet ; une recherche sur le Web *via* la traduction du terme 'design sonore' dans les différentes langues européennes (le périmètre du projet se cantonnant dans un premier temps à l'Europe); le recensement des lieux d'enseignement, et des étudiants associés ; l'inventaire des principaux projets collaboratifs ou industriels ainsi que des principaux événements de type conférences, colloques, séminaires, et des acteurs, contributeurs associés.

✓ l'élaboration d'un questionnaire destiné aux différents contacts de la base de données (cf. ci-dessus) et conçu pour sonder les diversités des pratiques du design sonore, récolter des données chronologiques, cartographiques, sociologiques de la profession, et recueillir les points de vue et pratiques habituelles des professionnels. Dans sa forme courante, le questionnaire comporte une quarantaine de questions structurées en trois grandes parties ('Données Quantitatives', 'Méthodologie', 'Réflexions Générales').

✓ d'un premier état des lieux des réponses au questionnaire : un taux de réponse de 14% parmi les 577 entrées de notre base de données ; une représentation majoritaire de 3 pays européens (ou assimilé) : France, Allemagne et Royaume-Uni ; une sous-représentation évidente des femmes dans la profession (12% des réponses) ; une distribution quasi-normale des âges entre 'junior' (18 ans) et 'senior' (plus de 66 ans), centrée sur la tranche 36-45 ans ; une première analyse de ce dernier résultat pouvant permettre de faire l'hypothèse que le design sonore a acquis une certaine maturité [Zattra et al., 2018]

✓ la mise en place d'un outil de diffusion, *via* l'acquisition d'un nom de domaine, "thesounddesignproject" (.net, .eu et .com), ouvrant sur un site Web⁸⁵ voué à devenir une plateforme d'information et d'échange, d'abord sur le projet lui-même, puis plus largement sur les acteurs(-trices) et actions du design sonore en Europe (dans un premier temps).

IV.1.2 Etude des « procédés » : statut du design sonore

Nous introduisons cette section par des éléments relatifs au statut du design sonore en contexte réel (industriel) issus des enseignements tirés du projet de signature sonore du véhicule électrique (cf. § III.2.2.b). Nous la complétons par une série d'éléments issus d'études antérieures et de réflexions prospectives sur différentes thématiques : les processus de communication et d'échange sur les sons (Lemaitre et coll. – § IV.1.2.b), l'approche de co-design (Carron et coll. – § IV.1.2.c), la question du prototypage sonore et de la simulation numérique (Houix et coll. ; Misdariis et coll. – § IV.1.2.d), et enfin les mécanismes de créativité et de fixation en design sonore (Misdariis et coll. – § IV.1.2.e).

⁸⁵ <http://thesounddesignproject.net>

IV.1.2.a Statut du design sonore : retour d'expérience

L'étude en design sonore pour le véhicule électrique (VE) a permis de réaliser un examen critique à propos de la méthodologie initiale (analyse, création, validation). Elle a pointé, d'une part, l'impossible généralisation d'un état de l'art exhaustif mais qui, en contrepartie, a permis de sortir d'un cadre trop rigide pour aboutir à des solutions inédites, et d'autre part, la difficulté d'opérer concrètement les itérations "création <-> validation" qui se transforment davantage en processus linéaire de sélections successives [Misdariis et Cera, 2017a ; 2017b].

Le caractère inédit de l'objet d'étude (véhicule électrique) ainsi que son orientation industrielle forte (production en série) a en effet permis d'éprouver particulièrement la pertinence et la faisabilité des phases d'analyse et de validation du processus de design sonore.

- pour l'analyse, le caractère pionnier de la thématique (à l'époque de démarrage du projet) nous a mis dans une situation de type quasi- 'page blanche' et nous a empêché d'avoir une approche quantitative forte du problème, à savoir : la constitution d'un état de l'art et l'établissement de relations analytiques entre représentations mentales subjectives des concepts visés et descriptions acoustiques objectives des signaux sonores pressentis comme solution. A la place, nous avons émis des hypothèses à partir de données plus qualitatives issues de démarches plus informelles telle que l'exploration de l'industrie cinématographique (cf. § III.2.2.b). Cette approche semi-empirique, associée à un mode de raisonnement de type abductif, s'oppose à des modes de pensée plus rationnels comme la déduction ou l'induction – selon N. Cross, sur les bases formelles de Peirce [Fann, 2012] : « la *déduction* prouve qu'une chose doit exister, l'*induction* démontre qu'une chose est effectivement opérationnelle, et l'*abduction* suggère qu'une chose peut être »⁸⁶ [Cross, 2006]. Ce type d'approche a néanmoins permis de produire un contre-effet positif de première importance : celui d'ouvrir le champ des possibles et de favoriser les idées créatives sans être nécessairement contraint par la stricte observation du réel ou de l'existant. Cette observation s'inscrit dans la lignée de l'étude faite par D. Hug dans le domaine du jeu vidéo où il décrit un paradigme « parental » dans la manière d'utiliser la technologie ou de faire des propositions esthétiques et où, même dans l'édition indépendante, l'innovation en termes de son est relativement rare (« *true innovation sound-wise is relatively rare [...]* ») [Hug, 2011].

- l'étape de validation (ou d'évaluation) n'est, quant à elle, pas discutée – la nécessité de fournir des indices objectifs du bien-fondé des propositions s'est avérée cruciale dans le processus industriel du projet –, mais c'est plutôt son caractère itératif qui s'est trouvé remis en cause, précisément à cause des fortes contraintes industrielles du projet (temps, coût, phasage, etc.). En effet, le processus d'ajustement des propositions, imaginé initialement dans une boucle de rétroaction, s'est transformé, de manière pragmatique, en un mécanisme de type 'entonnoir' aboutissant concrètement à des sélections successives, à partir de données provenant des résultats objectifs d'expérience ou des jugements subjectifs des groupes de décision. Ainsi, cette phase de validation a finalement présenté un caractère davantage consultatif dans les différentes prises de décision, que réellement prescriptif pour d'éventuelles reprises de conception.

IV.1.2.b Processus de communication et d'expression sur le son

Cette thématique est centrale en design sonore, mais également dans tous les domaines où le son constitue la matière première d'une réalisation, d'une œuvre : ingénierie sonore, composition, analyse musicale, etc. Elle peut se résumer simplement de la manière suivante : comment s'exprime-t-on sur les sons, vis-à-vis de leurs propriétés acoustiques, esthétiques, évocatrices ou émotionnelles ? Les réponses à cette question peuvent globalement se ranger dans quatre grandes catégories de moyens d'expression ou de communication d'une idée sonore : la verbalisation (parler des sons avec des mots), la représentation graphique (décrire les sons avec des dessins ou des images), l'analogie sonore (faire comprendre un son en utilisant d'autres sons, notamment instrumentaux), le mimétisme (incarner un son dans une imitation vocale et/ou gestuelle).

Communiquer sur le son avec les mots

La première catégorie d'expression (verbalisation) concerne donc l'association entre mots et sons et s'inspire notamment des travaux de Pierre Schaeffer qui pose les bases d'un « solfège de l'objet sonore » [Schaeffer et al., 1967 ; Couprie, 2001], mais aussi, plus récemment, de ceux d'Anne Faure qui étudie la constitution de portraits verbaux de sons relatifs au timbre musical [Faure, 2000], ou encore de ceux de Maxime Carron qui développe un lexique sonore adapté à la description des différentes caractéristiques

⁸⁶ « *Deduction* proves that something must be, *induction* shows that something actually is operative, *abduction* merely suggests that something may be » (Peirce, cité dans [Cross, 2006 - p.19])

du son [Carron et al, 2017]. Il ressort de tous ces travaux – et de bien d’autres encore – que la description verbale des sons peut s’effectuer à plusieurs niveaux. En effet, par analogie avec les différents modes d’écoute formalisés initialement par Schaeffer [Schaeffer, 1966] – puis repris notamment par Chion [Chion, 1994], ou plus récemment par Lemaitre [Lemaitre et al., 2010] –, il est possible de distinguer trois grands modes de "discours" sur le son, chacun correspondant à une terminologie spécifique :

- le discours réduit – dual de l’attitude d’« entendre » –, associé à des descripteurs élémentaires de bas niveau (hauteur, intensité), à des morphologies temporelles ou à des propriétés spatiales et timbrales ;
- le discours causal – dual de l’attitude d’« écouter » – associé à des descripteurs relatifs aux types de sources, aux matériaux qui les constituent ou aux actions responsables de la production du son ;
- le discours sémantique (ou contextuel) – dual de l’attitude de « comprendre » –, associé à des descripteurs de haut niveau relatifs à la signification (sens) des sons, ou bien aux émotions, jugements et associations qu’ils évoquent.

Dans sa thèse, M. Carron s’intéresse principalement au premier niveau de description (« réduit ») [Carron, 2016]. La première phase de son travail de recherche a pour objectif la définition d’un répertoire de mots référencé et illustré – qu’il utilisera, dans un second temps, pour l’appliquer à la définition d’une identité sonore de marque par « transformation sémantique » (voir § IV.1.2.c). Cette première phase comporte plusieurs étapes aboutissant au développement d’un lexique sonore sous la forme d’une application interactive prototype – par la suite, baptisée '*Speak*' et dont le développement est toujours en cours (cf. plus bas) :

- la revue bibliographique de plus d’une centaine d’articles scientifiques reportant des études expérimentales sur la perception de sons musicaux ou environnementaux qui mettent en oeuvre des données sémantiques (verbalisation libre, jugement sur des échelles sémantiques, etc.) ;
- la constitution d’une liste initiale de 80 mots, validée puis réduite à 35 termes grâce notamment à des questionnaires et entretiens avec des professionnels du son (acousticiens, ingénieurs du son, compositeurs, designers sonores, etc.) ;
- la conception d’exemples sonores et d’iconographies illustrant chacun des termes, en collaboration avec Thomas Rotureau, dans le cadre du cursus design sonore de l’Esbam (cf. § III.2.3.b) ;
- l’implémentation du lexique sonore sous forme d’application constituée, pour chacun des 35 mots – organisés en 22 échelles bipolaires ou monopolaires et 3 grandes catégories (qualités générales, morphologiques et timbrales) –, d’une définition ainsi que de plusieurs illustrations sonores et graphiques (Figure 20) ;
- la validation de l’efficacité de l’outil en termes de description des concepts sonores, au moyen d’exercices mettant en oeuvre le caractère pédagogique de la démarche – et constituant, par la suite, les éléments d’un protocole formaté de prise en main du lexique. Ces exercices reposent sur un paradigme du type :
 - à partir d’une vérité-terrain constituée d’une base de données annotée par un groupe d’experts :
 - phase d’apprentissages successifs (libres ou par entraînement supervisé) des termes du lexique, puis,
 - tâche de reconnaissance d’attributs (« trouver le son qui représente le mieux un attribut donné »), ou bien,
 - tâche d’annotation de sons (« choisir une liste d’attributs pertinents pour un son donné »).

La performance pédagogique du lexique est alors évaluée selon trois critères principaux :

1. le pouvoir discriminant : capacité du lexique à décrire les différences. Elle est mesurée par une analyse des correspondances (généralisation de l’Analyse en Composantes Principales à des données qualitatives) menant à un espace multidimensionnel (dit "sensoriel") figurant les relations entre sons et attributs.
2. le consensus : uniformité de description par plusieurs personnes. Elle est mesurée par le *Kappa de Fleiss*, indicateur qui quantifie le degré de concordance d’annotations produites par des observateurs assignant des éléments (les sons) à un nombre fixe de catégories (les mots), en référence à une annotation effectuée au hasard.
3. la répétabilité : uniformité de description au cours du temps, tant sur le plan individuel (consistance des réponses d’un sujet) que sur le plan global, pour chaque attribut (consistance d’un attribut dans la description d’un son). La seconde grandeur est mesurée grâce à l’Indice de Stabilité de Sélection (SSI) d’un attribut, indicateur de répétabilité couramment utilisé sur des données CATA (*Check All That Applied* [Valentin et al., 2012]).

A partir de ces critères, et d’une analyse approfondie des stratégies d’indexation, les résultats des expériences menées au cours de la thèse de M. Carron (notamment lors d’une expérience en parallèle, de

deux jours consécutifs, rassemblant au total 20 personnes) font globalement apparaître la présence significative de 2 groupes d'attributs (relatifs à des « marqueurs sonores » préalablement définis par rapport au contexte général de l'étude) : d'une part, les « invariants » fonctionnels liés aux propriétés sonores propres à une nature d'objet ou une fonction (p. ex., "Composteur" => court et bruité), et d'autre part, les « leviers » de design sonore liés aux propriétés sonores variables pouvant porter des valeurs d'esthétique ou d'identité (p. ex., "Alarme" => artificiel, rugueux ou tonal) [Carron, 2016 - Chap.7 & 8].

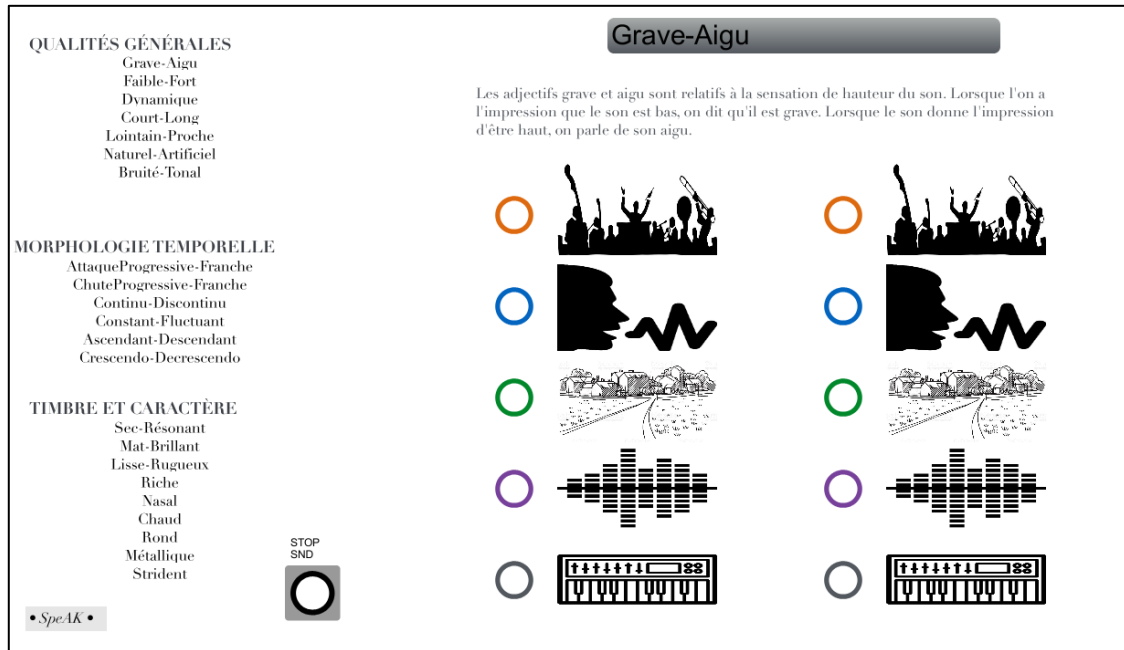


Figure 20. Interface-utilisateur de l'application *Speak* qui implémente un lexique sonore constitué de 22 échelles sémantiques (organisée en 3 catégories), et pour chacune d'elle, d'une définition et d'une série d'exemples sonores organisés en 5 classes : instrumentale/orchestrale, vocale, environnementale, composite (effets) et basique (synthèse). Cette version correspond à la V2 du développement de l'outil, effectuée à l'occasion d'une collaboration industrielle (Krug) et d'une association avec le compositeur Roque Rivas.

Par la suite, ce travail a fait l'objet d'une évolution significative à la faveur d'une nouvelle collaboration de recherche industrielle (projet Krug – 2017/18). En effet, en préambule à un travail de transformation sémantique dans le domaine de l'œnologie (passage des "mots du vin" aux "mots du son") – et qui a abouti à la création de pièces sonores associées à une expérience de dégustation multi-sensorielle –, le lexique sonore a été réévalué lors de séances de travail réalisées avec le compositeur associé au projet, Roque Rivas⁸⁷. Cette implication artistique a permis d'avoir un regard critique sur la version actuelle de l'outil méthodologique pour en proposer une première évolution de version (V2), portant essentiellement sur :

- le type et l'organisation des exemples sonores et graphiques illustrant les mots. Au cours d'une séance de travail (*workshop*) réunissant compositeurs, designers sonores et chercheurs, plusieurs modifications du lexique sonore ont été effectuées, parmi lesquelles :
 - une typologie d'exemples sonores et d'illustrations commune à tous les termes, organisée en 5 grandes classes de sons : instrumentaux/orchestraux, voix/vocalisation, nature/environnement, sons composites (effets), sons basiques (synthèse). La dernière classe visant à représenter un archétype de la notion considérée au moyen d'une synthèse très simple (additive, source-filtre, ...), qui fait abstraction de tout aspect contextuel ou esthétique (Figure 20).
 - la production (ou la recherche dans des bases de données) d'exemples sonores homogènes en termes de qualité audio et de sémantique.
 - la simplification de l'interface en ne considérant que des exemples statiques, c'est-à-dire sans prendre en compte l'évolution entre deux notions opposées sur une échelle bipolaire (p. ex., 'Lisse' – 'Rugueux'). Cette question d'évolution dynamique et graduelle étant reportée à une étape ultérieure de développement.

⁸⁷ <http://brahms.ircam.fr/roque-rivas>

- le protocole d'apprentissage et de validation de l'outil. Des exercices d'entraînement plus simples et moins longs ont été élaborés, notamment à la suite de tests réalisés avec différents groupes de sujets, dont l'équipe d'œnologues partenaire dans le projet Krug. Les résultats de ces expériences ont permis de préciser la tâche demandée dans chaque exercice (reconnaissance, annotation, description libre) ainsi que la nature du retour de performance donné aux participants (score individuel, discussion collective, etc.). Ces expériences ont également pointé la difficulté – et la nécessité – de constituer un corpus sonore de référence le moins ambigu possible afin de conférer aux exercices une réelle valeur pédagogique.

Communiquer sur le son avec la voix (et le geste)

Une autre catégorie de mode d'expression sur le son est associée au mimétisme (imitations vocales et gestuelles). Cette question a été abordée dans le cadre du projet européen SkAT-VG⁸⁸ (2014-17) réunissant un consortium de trois laboratoires de recherche et un industriel de l'audio autour de la question de l'imitation, à la fois comme moyen d'expression sur le son et paradigme original pour sonder la perception humaine, mais également technique d'esquisse et de prototypage sonore (cf. § IV.1.2.d).

Sur la question fondamentale de l'imitation comme moyen d'expression, le projet SkAT-VG s'appuie principalement sur deux résultats issus de travaux précédents :

- l'imitation vocale constitue une réduction efficace de l'information sonore et, en outre, donne de meilleurs résultats que la verbalisation en termes de reconnaissance. En effet, une première étude montre que les versions imitées de sons de référence répondant à une structure catégorielle perceptivement pertinente (solide, liquide, gaz, machine) sont elles-mêmes organisées, à l'issue d'une tâche de tri libre, suivant les mêmes catégories perceptives (76 % de classification correcte sur un corpus de 72 items) [Lemaitre et al., 2011]. Ce résultat suggère donc que l'imitation encode l'information nécessaire et suffisante à la représentation mentale de la réalité. Par ailleurs, dans leur étude comparative, Lemaitre et Rocchesso montrent un avantage significatif de l'imitation vocale par rapport à la description verbale lors d'une tâche de reconnaissance. Plus précisément, cette conclusion dépend de la nature des sons : lorsqu'il s'agit d'interactions sonores élémentaires (frapper, couler, souffler, etc.) ou de sons provenant de sources facilement identifiables (instruments de musique, objets du quotidien, etc.) la reconnaissance est indifféremment possible avec l'un ou l'autre des moyens de description (verbalisation ou imitation). Par contre, lorsqu'il s'agit de sons artificiels (sons de synthèse) ou de sons difficilement identifiables, l'imitation permet une reconnaissance significativement meilleure que la description verbale, par rapport à une référence donnée [Lemaitre et Rocchesso, 2014].

- la nature de l'imitation gestuelle d'un son dépend de son degré d'identifiabilité. En effet, au moyen d'une expérience performative incluant une capture de mouvement (vidéo et data) ainsi qu'une interview réflexive (auto-confrontation), l'étude de B. Caramiaux montre que si la cause du son est reconnue (écoute causale), le geste imitera l'action ou l'objet perçu comme responsable du son, dans une stratégie cherchant à imiter (*mimicking*). Dans le cas contraire (écoute réduite), le geste suivra les contours du son, c'est-à-dire l'évolution temporelle d'une, ou plusieurs, de ses propriétés (fréquence, énergie, contenu spectral, ...), dans une stratégie cherchant à dessiner (*tracing*) [Caramiaux et al., 2011].

Partant de ces résultats – notamment ceux relatifs au vocal –, le travail d'Ali Jabbari, dans le projet SkAT-VG, s'est intéressé à la reproduction par imitation des propriétés fines du timbre de sons environnementaux en tentant de définir l'existence et la nature des limites de cette approche. Le principe de cette étude est de comparer la variation de paramètres acoustiques d'un corpus de sons élémentaires (tempo, rugosité, hauteur et attaque) avec la variation de ces mêmes paramètres calculés sur des versions du corpus produites par imitation vocale. De plus, l'étude considère deux groupes d'imitateurs(-trices) : novices et experts – en l'occurrence un chanteur/compositeur/acteur et une chanteuse/danseuse/actrice, tous deux rompus aux techniques vocales étendues. Les principaux résultats montrent de grandes différences suivant la nature des paramètres acoustiques. Les dimensions de tempo et de hauteur sont faciles à imiter, le groupe expert étant cependant meilleur à cette tâche. En revanche, la rugosité et l'attaque sont plus difficiles à imiter, même pour les experts. En outre, les résultats individuels montrent l'existence de différentes stratégies d'imitation : reproduction fidèle des valeurs d'un paramètre, adaptation (transposition, compression, extension) de la plage de variation des paramètres en fonction de la capacité vocale, catégorisation de l'espace des paramètres et stratégies d'imitations binaires, etc. Plus généralement encore, ces résultats montrent qu'il est globalement difficile de faire covarier deux, ou plusieurs, paramètres lors d'une imitation (surtout pour les novices) et que les stratégies employées semblent fondamentalement différentes du simple mimétisme dans la mesure où elles contiennent également une partie des intentions de la personne qui vocalise [Lemaitre et al., 2016a ; 2016b].

⁸⁸ <http://skatvg.iuav.it>

IV.1.2.c Approches de co-design

Co-design d'identité (de marque)

La seconde partie de la thèse de M. Carron s'est attachée à mettre en œuvre un environnement de design collaboratif (*co-design*) afin d'opérer le processus de « transformation sémantique » à la base de la conception d'une identité sonore [Carron et al., 2014]. Dans ce cas d'étude, la transformation représente le passage entre des mots caractérisant une image de marque et des mots décrivant des qualités sonores usuelles et partagées (cf. § IV.1.2.b). Le but de l'approche collaborative est alors de pouvoir faire communiquer – et concevoir – ensemble des personnes issues de domaines différents (communicants, scientifiques, créatifs, etc.) mais détenant chacun une partie des éléments du problème posé, soit par leur connaissance de l'objet (ici, l'identité de marque), soit par leur maîtrise des moyens d'atteindre l'objectif (ici, le design sonore), soit par leur expérience du terrain de déploiement des solutions (ici, les contingences techniques, matérielles réglementaires, etc.). Cette configuration de travail est usuelle en design [Darras, 2017], et en design sonore (cf. les projets menés avec les industries horlogère ou automobile – § III.2.2.b). Elle s'inscrit dans le champ plus large des méthodes créatives qui développent des cadres opérationnels de recherche de solutions par la culture de la créativité comme, entre autres :

- la théorie C-K (*Concept-Knowledge*) qui repose sur la distinction formelle entre « concept » et « connaissance », dans laquelle les connaissances (K) représentent l'ensemble des « proposition[s] ayant un statut logique pour le concepteur » et le concept (C) est « une notion ou une proposition sans statut logique » (acception proche de celle employée en architecture, design ou ingénierie) appartenant à un « ensemble associé ». La formalisation de ces deux espaces 'C' et 'K' constitue l'axiome de base d'un raisonnement de conception qui se déploie ensuite dans la théorie des ensembles en appliquant, entre autres, des opérateurs de début (disjonction de $K \rightarrow C$, permettant la formulation d'un concept) et de fin (conjonction de $C \rightarrow K$, transformant un concept en connaissance) du raisonnement [Hatchuel et al., 2004 ; Hatchuel et Weill, 2002]. Cette approche, qui inclut par ailleurs fondamentalement l'activité collective dans le processus de conception, semble être une réponse efficace, créative et largement répandue aux besoins d'innovation dans divers domaines (ingénierie, design, gestion, économie, ...) [Le Masson et McMahon, 2016].

- la démarche CPS (*Creative Problem Solving*) qui se compose de trois étapes principales (compréhension du problème, génération des idées et planification des actions) et place en son centre la présence d'un « groupe ressource » qui est présent aux différentes étapes du processus. Chacune de ces étapes est rythmée par l'alternance de deux états : la divergence qui sollicite l'imaginaire et la créativité du groupe afin de produire un grand nombre d'idées, et la convergence qui filtre et sélectionne les solutions les mieux adaptées au problème [Isaksen et Treffinger, 2004].

- le *Design Thinking* qui, plus largement, structure son cycle de recherche d'innovation selon trois grands « espaces » : l'Inspiration qui formalise les circonstances d'un problème posé (expériences utilisateurs, état de l'art, veille technologique, etc.), l'Idéation qui consiste à générer, développer et tester des solutions pour le résoudre, et l'Implémentation qui concrétise – et le cas échéant, industrialise ou commercialise – la solution la plus adaptée [Brown, 2008].

Pour l'identité sonore de la marque SnCF, le travail de *co-design* s'est effectué au cours d'une séance de type *brainstorming* appuyée par l'outil de lexique sonore ainsi que par un outil de médiation (en l'occurrence, un jeu de cartes) favorisant la rencontre des deux mondes sémantiques : les mots de la marque et les mots du son. Cette séance a également joué le rôle de *brief* dans le processus de design sonore, confié à cette occasion à l'agence LAPS⁸⁹ (Ludovic Germain et Romain Barthélémy). Elle a rassemblé autour de la table différents métiers (chef de projet, responsable communication, designer, designers sonores, chercheurs) et a principalement consisté à traduire des valeurs de marque (p. ex., performant, bienveillant, rebelle authentique, ...) illustrées par des planches de tendance visuelles, en termes sonores (p. ex., fluctuant, chaud, bruyé, métallique, ...) illustrés quant à eux par les définitions et les exemples sonores du lexique. A posteriori, plusieurs éléments de cette expérimentation de *co-design* sont intéressants à dégager ; sur la base de l'analyse qu'en a fait M. Carron [Carron, 2016] ainsi que de l'expérience vécue, en voici une synthèse :

– le rôle des cartes a été non négligeable : elles ont permis de considérer plusieurs aspects du son (timbre, morphologie, etc.) et de les relier concrètement aux valeurs de marque ;

⁸⁹ <http://www.laps-design.com/>

- de nouveaux termes sonores ont été proposés en cours de séance, notamment par les designers sonores : cette possibilité avait été anticipée en mettant à disposition des cartes vierges permettant, si besoin, de sortir des limites imposées par le lexique sonore ;
- les outils méthodologiques mis en œuvre (lexique sonore, cartes, instructions) ont permis d'effectuer convenablement la transformation sémantique, de surcroît, en impliquant l'ensemble des acteurs de la séance. Plus précisément, pour les designers sonores (LAPS), cette séance « a bien servi à ouvrir les codes du sonore aux personnes présentes. Les descripteurs ont été un bon point de départ [pour] dégager un langage sonore commun » ;
- en préambule à la phase de création, l'agence LAPS a effectué un travail de redéfinition des valeurs de marque impliquées dans l'étude, au moyen de planches de tendance sonores (« *soundboards* ») qui constituent un outil propre de recherche sur la matière sonore – cette recherche ne se limitant pas forcément aux attributs du lexique définis lors de la séance de *co-design* ;
- à l'issue de la phase de création, les designers sonores ont admis que certains attributs du lexique s'étaient révélés « trop fermés ou trop définitifs », préférant alors « s'en servir comme d'une base pouvant être remise en question plutôt que comme cadre rigide ».

Co-design de terroir (viticole)

Un autre cadre de recherche, instauré à l'occasion d'une collaboration avec la Maison de champagne Krug, nous a offert une seconde opportunité d'expérimenter la méthodologie de *co-design*. En effet, ce projet a fondamentalement confronté deux mondes distincts : la science du vin (œnologie) et la science du son (acoustique/musique). Il a cherché à exprimer les valeurs du premier (les descriptifs d'un vin, ou d'une région viticole) par des artefacts du second (des pièces musicales/sonores associées) et de proposer, *in fine*, une expérience nouvelle et multisensorielle de dégustation. Sur le modèle de l'expérimentation précédente, cette transformation sémantique (passage des "mots du vin" aux "mots du son") s'est effectuée lors d'une séance de conception collaborative réunissant autour de la table différents métiers (œnologue, responsable marketing, compositeur, chercheur) et consistant à traduire des valeurs du vin (p. ex., fraîcheur, complexité, maturité, élégance, ...) illustrées par des termes complémentaires ou des analogies musicales/instrumentales, en attributs sonores se référant au lexique sonore réutilisé et affiné pour l'occasion (cf. § IV.1.2.b). A l'issue de cette séance, plusieurs (nouveaux) éléments relatifs à l'approche de *co-design* sont également intéressants à dégager :

- la réutilisation du mode opératoire (cartes, tapis, lexique) a permis de confirmer sa pertinence et son efficacité à formaliser des associations sémantiques. Le dispositif a été augmenté d'un concept de hiérarchie de description considérant des termes principaux et secondaires, disposés visuellement en cercles concentriques autour des valeurs œnologiques considérées (Figure 21) ;
- les termes du lexique ont été quasi-systématiquement examinés dans leur ensemble à chaque configuration (portrait) œnologique – et le cas échéant, écartés par manque de pertinence. Les exemples sonores associés ont été assez souvent sollicités pour préciser certains termes demeurant ambigus. Par ailleurs, les analogies musicales ont également été exploitées sous la forme d'un accès rapide à une base de données instrumentale permettant d'écouter des timbres musicaux en lien supposé avec les descriptions œnologiques ;
- à l'issue du travail méthodique de transformation sémantique, une composante plus subjective s'est naturellement imposée – notamment au compositeur – en complément des portraits établis. Ainsi, une description de nature psychologique/émotionnelle a été ajoutée au moyen d'attributs proposés intuitivement par les experts œnologues (joyeux, sérieux, réservé, discret, dur, ...), leur permettant de détailler la « personnalité » de chaque vin, ou région viticole ;
- enfin, l'animation d'une séance de *co-design* est apparue complexe notamment vis-à-vis de la position de médiateur/animateur dont le rôle doit théoriquement n'être que de faciliter et relancer les échanges sans prendre part aux contenus des discussions. Cette distance avec le sujet d'étude s'avère délicate à tenir, bien qu'a priori essentielle dans la bonne conduite de la séance.

IV.1.2.d Statut du prototype en design sonore

Le prototype en design sonore est crucial et non trivial : crucial car il renvoie à la problématique de formalisation des différentes étapes de travail et à la force de l'impression laissée par l'écoute d'une proposition intermédiaire non finalisée ; non trivial car il concerne une matière intangible (le son) qu'il faut donner à entendre, donc présenter, expliquer mais également contextualiser. Ces considérations sont d'autant plus importantes que, s'inscrivant dans le cadre du design (cf. § I.1), le design sonore est fondamentalement une « discipline de projet » pour laquelle la question de la modélisation des idées est essentielle. Précisément, cette notion de prototype s'ouvre vers celles du croquis, de la perspective, de la maquette, du démonstrateur ou de la simulation – physique ou numérique. D'un point de vue conceptuel, en design, ces différentes représentations sont dénommées "intermédiaires" et se regroupent sous l'appellation "Objets Intermédiaires de conception" (O.I.) [Bassereau et al., 2015]. Ces objets intermédiaires sont largement utilisés et partagés par la communauté, permettent de donner forme aux idées du designer et servent de support de médiation entre les différents acteurs d'un projet [Boujut et Blanco, 2003].

D'un point de vue encore plus général, voire philosophique, la notion de prototype matérialise un point d'articulation entre science et art, même si ce terme ne prend pas tout à fait le même sens dans les deux champs disciplinaires. Ainsi, pour Elie During « l'évolution des sciences et des techniques nous porte [...] à envisager le prototype comme exemplaire premier d'une série (*proton*), ou encore modèle "réduit" (simplifié, modélisé) de l'objet pleinement opérationnel ». En revanche, « l'œuvre-prototype conçue par les artistes » se réfère davantage au sens étymologique du mot, à savoir le « premier type » (*proto-type*), proche de l'archétype qui « donne le gabarit, c'est-à-dire une norme ou un étalon » ou bien qui représente « le patron ou le modèle exemplaire sur lequel vient se régler une production en série ». Pour During encore, « le prototype artistique témoigne [...] d'une tension entre l'oeuvre finie et le processus [...] indéfini de l'expérimentation créative » et « [son] exhibition [est] une première démonstration de l'effectivité de l'œuvre » [During et al., 2010].

Ces différentes mises en perspective du statut du prototype nous permettent d'introduire et de légitimer trois essais expérimentaux de développement d'outils de prototypage en design sonore qui produisent, chacun, un certain type d'objet intermédiaire de conception répondant tantôt à l'acception scientifique (« premier d'une série »), tantôt à l'acception artistique (« gabarit ») du prototype selon E. During (cf. ci-dessus). Le premier de ces outils concerne un environnement de préfiguration – ou d'auralisation – d'un objet sonore '*designé*' dans son contexte, le second est une interface tangible permettant d'étudier la relation son-mouvement dans un cadre de design sonore interactif, et le troisième est un outil de maquettage appliquant le paradigme de l'esquisse au domaine du son.

Préfiguration du design sonore

Le travail de Julien Gerber a consisté à développer un environnement de simulation de la présence d'un véhicule électrique (VE) en milieu urbain. Ce type de démarche nécessite une étape préliminaire de définition et caractérisation du contexte. En l'occurrence, il s'agit de dresser une typologie des ambiances urbaines afin d'en extraire des situations représentatives dans lequel des scénarios d'usage réalistes de l'objet sonore étudié pourront être construits. A partir de données de la littérature relatant des études de classification et de description perceptives des ambiances sonores urbaines [Polack et al., 2008 ; Kang et Zhang 2010], complétées par une analyse objective de critères urbanistiques (ampleur du trafic routier, vitesse des véhicules, types de rue et de revêtement, présences d'autres sources), nous définissons trois ambiances types de ville : 'calme', 'bruyant' et 'insupportable'. Une fois ce travail effectué, nous cartographions la ville (Paris) afin de déterminer des lieux correspondants à notre typologie pour y réaliser des prises de son. Les enregistrements de terrain (*field recording*) sont effectués en mode traditionnel (couple ORTF) et multicanal (micro Soundfield⁹¹) en plusieurs points représentatifs de la ville. L'enregistrement multicanal (Ambisonics d'ordre 1) permet une restitution spatialisée et immersive des ambiances selon la configuration la plus adaptée au réalisme de la scène (2-Dimensions, dans le plan médian, d'après [Guastavino et al., 2005]) ; le format 5.1 est choisi pour la reproduction sonore du contexte. A ce premier élément de simulation vient ensuite s'ajouter la possibilité d'incruster un objet sonore – en l'occurrence un VE, lui-même mis en espace dans la scène grâce à des techniques de panoramiques ou des processeurs d'acoustique virtuelle tel que le Spatialisateur® [Jot et Warusfel, 1995] –, afin d'en préfigurer la présence, l'effet, et en évaluer la pertinence tant du point de vue fonctionnel (p. ex., évaluation des effets de masquage) que formel (cohérence avec le contexte et les autres sources sonores) [Misdariis et al, 2014b].

⁹¹ <http://www.soundfield.com>

A ce propos, il est intéressant de noter que l'idée générale de cette démarche a été récemment reprise et développée par l'agence de design sonore 'Sound Is More' de Coralie Diatkine, dans l'application TRS~ (Transit Signalétique) qui réalise un « démonstrateur audiovisuel immersif dédié au son des véhicules électriques et hybrides dans l'environnement »⁹². De fait, et par extension, ce paradigme peut représenter une véritable approche de prototypage en design sonore dans la mesure où il permet de replacer l'objet de design dans son contexte et d'en étudier le comportement et l'intégration – à l'instar de ce qui se fait en visuel, dans l'automobile ou l'architecture, entre autres.

Expérimentation du design sonore interactif

Dans le cadre du projet Legos⁹³, un dispositif interactif sonore et haptique a été développé et étudié. Le *Stonic* est un objet interactif dont la forme satisfait au concept d'affordances multiples proposant ainsi plusieurs types d'interaction (frotter, taper, tourner, etc.) et dont la composition (à base de divers capteurs) permet d'y associer des métaphores sonores. Cet objet est utilisé expérimentalement pour modéliser et comprendre le rôle du retour sonore dans la manipulation d'objets (augmentés) mais également, et de manière plus prospective, comme outil de maquettage et de contrôle du son (voir paragraphe suivant). La forme et la structure du *Stonic* ont été conçues à partir d'études sur la manipulation des objets mettant en évidence une typologie de gestes élémentaires qui distingue la préhension / non préhension [Napier, 1956] ainsi que des mouvements de précision ou de puissance [Cutkosky, 1989 ; Zheng et al., 2011]. Elles s'inspirent également d'un travail de taxonomie des interactions solides productrices de son distinguant des interactions discrètes (simples, multiples, cycliques) et continues (secousse, déformation, séparation) [Houix et al., 2012]. En collaboration avec un designer (Julien Gobroz, diplômé de l'Ensci), et à la suite d'une étude de formes, une version prototype de l'objet a été réalisée en impression 3D, sur la base de cinq mouvements élémentaires : tapoter (*tapping*), presser (*crushing*), secouer (*shaking*), pencher (*tilting*), tourner (*turning*). En parallèle, en collaboration avec un designer sonore (Fabien Bourlier, diplômé de l'Esbam), un travail de sonification du *Stonic* a été entrepris selon deux grands principes : des sons concrets liés aux différentes actions sur l'objet, déclinés sur différentes sonorités de matériaux (bois, métal, verre, ...), et des sons plus abstraits gardant plus ou moins les caractères morphologiques des interactions physiques incarnées par l'objet : de la métaphore sonore « organique » mais néanmoins indistinctes à des textures définitivement « aériennes » et bruitées⁹⁴. Le design sonore du *Stonic* est principalement réalisé à partir d'échantillons sonores et de synthèses associées (granulaire ou concaténative) ; par ailleurs, la reconnaissance des gestes et le couplage geste-son (*mapping*) sont assurées par des techniques d'apprentissage des données de mouvement recueillies par les capteurs embarqués [Houix et al., 2015].

Fabrication d'une esquisse sonore

Dans le cadre du projet SkAT-VG, l'imitation vocale et gestuelle est également considérée comme une technique d'esquisse et de prototypage sonore (cf. § IV.1.2.b). Cette approche est directement inspirée du paradigme "papier-crayon" qui peut s'énoncer de la manière suivante : pour un designer, un architecte ou un graphiste, il est relativement facile de rapidement matérialiser et faire comprendre une idée grâce à un dessin – fait avec un papier et un crayon – faisant office de croquis, d'esquisse, d'épure, etc. (voir, par exemple, les croquis de l'architecte Frank Gehry pour la Fondation Louis Vuitton, à Paris – Figure 22)

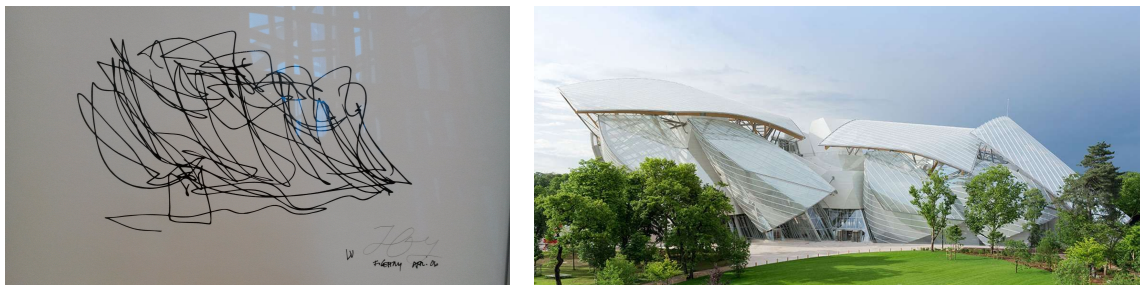


Figure 22. Rôle et statut de l'esquisse en architecture : exemple du bâtiment de la Fondation Louis Vuitton (Paris), réalisé par l'architecte Frank Gehry. Comparé au résultat final (droite), le croquis de l'architecte (gauche) rend compte rapidement des formes et proportions de l'œuvre, tout en conservant un statut d'"inachevé" (Crédits : N. Misdariis et site Fondation Louis Vuitton)

⁹² <http://soundismore.eu>

⁹³ <http://legos.ircam.fr>

⁹⁴ https://www.youtube.com/watch?v=QpwZus_MTBU

Mais qu'en est-il pour le designer sonore ? Comment réaliser une esquisse sonore ? Telles sont les questions auxquelles a tenté de répondre le projet SkAT-VG en visant le développement d'interfaces intuitives capables de capter les actions (vocales et/ou gestuelles) du designer lors de sa production d'imitation et la conception d'un outil de synthèse capable de transformer/interpréter cette imitation en esquisse. De plus, cet outil étant conçu de manière paramétrique, l'esquisse peut ensuite être modifiée/affinée pour faire évoluer l'idée initiale – par analogie avec le "coup de gomme" que peut facilement subir un dessin à l'état de croquis [Rochesso et al., 2015].

Dans cette optique, un environnement de prototypage sonore, *MIMES*, a été développé afin de répondre aux objectifs du projet. Son principe de fonctionnement est le suivant : l'idée vocale produite par le designer (ou autre) est analysée en termes d'évolutions temporelles (morphologies) de grandeurs telles que l'énergie, la balance, l'étendue ou la répartition spectrale, la périodicité, le taux de bruit, etc. Les descripteurs acoustiques associées à ces grandeurs sont utilisés comme paramètres d'entrée d'une synthèse concaténative par corpus – en l'occurrence l'environnement Cata-RT (développé par Diemo Schwarz et l'équipe Ircam /ISMM⁹⁵) [Schwarz et al., 2008]. Plus précisément, les descripteurs caractérisant l'imitation vocale sont utilisés pour sélectionner, par similarité, un jeu d'échantillons (grains) sonores appartenant à un corpus prédéfini. Le processus génère ainsi une version synthétique de l'esquisse possédant certaines proximités acoustiques (sélectionnables et paramétrables) avec l'original, tout en permettant de s'en écarter sur d'autres dimensions. Cette architecture admet en outre l'utilisation – et le mixage – de plusieurs corpus sonores simultanés, pouvant correspondre par exemple à différentes textures (matériaux, timbres) ou qualités sonores (sons concrets vs. abstraits).

L'outil *MIMES* devient alors un puissant moyen d'exploration de ces corpus, et a fortiori, de génération de prototypes sonores par couches (*layers*) successives, le tout piloté par la voix, et le cas échéant, les gestes. Cet outil est en effet également prévu pour être couplé à un dispositif de captation/reconnaissance de gestes dont les données de sortie peuvent servir de commande de contrôle de certains paramètres de synthèse. Une version expérimentale de ce principe a été implémentée en couplant *Stonic* et *MIMES*, aboutissant à un dispositif intégré et interactif qui permet d'effectuer l'exploration des corpus par la voix et/ou le geste⁹⁶ [Houix et al., 2016].

Le prolongement de ce travail est en cours de réflexion. Il vise d'une part, à intégrer cet environnement prototype dans des outils de production usuellement utilisés par les designers sonores (p. ex., la station de travail audio numérique Live). Il envisage d'autre part, d'étendre la forme de l'esquisse – pour l'instant, vocale – à d'autres modalités : par exemple, graphique (*via* une interface tactile), ou bien même sonore (*via* un modèle simple de type sinus+bruit filtré permettant une description rapide d'une idée sonore en termes de contenu fréquentiel et de forme temporelle).

IV.1.2.e Créativité et fixation

La méthodologie formelle ("analyse, création, validation") fait apparaître une définition a priori du processus de conception ainsi qu'une séparation chronologique entre l'identification des contraintes de création ("analyse") et l'exercice même de la créativité artistique ("création"). Nous nous intéressons ici aux propriétés du processus créateur, leur implication musicale et sonore, et en particulier au phénomène de *fixation*. La *fixation*, dans le champ du design, peut se définir comme « une adhérence aveugle et parfois contre-productive à un ensemble restreint d'idées alimentant le processus de design »⁹⁷ [Jansson et Smith, 1991] ou bien « un exemple de transfert négatif au cours duquel s'opère une focalisation sur des exemples ou des solutions antérieures non nécessairement utiles à la résolution du problème en cours »⁹⁸ [Chrysikou et Weisberg, 2005].

Le comportement de fixation a été historiquement formalisé par des psychologues de la théorie de la forme (*Gestalt*), notamment sous ses aspects fonctionnels (*functional fixedness*) ou mentaux (*mechanized thought*). Son existence dans le processus de design – et plus précisément dans les étapes de conception – a également été démontrée en tant que barrière au développement des idées et des concepts, limitant ainsi l'émergence de la nouveauté. Les études s'intéressant à cette problématique sont globalement construites sur le même schéma (voir, notamment, les deux références citées au paragraphe précédent). Elles consistent en un problème-type de design (p. ex., la conception d'un porte-vélo pour voiture, d'un système doseur pour aveugle, d'une tasse à café anti-renversement, etc.), posé à des designers étudiants

⁹⁵ <http://ismm.ircam.fr/catart/>

⁹⁶ <https://vimeo.com/125367426>

⁹⁷ « *design fixation* refers to a blind, and sometimes counterproductive, adherence to a limited set of ideas in the design process » [Jansson et Smith, 1991]

⁹⁸ « *fixation* [...] is an example of negative transfer in which one adheres to example elements or previous solutions that may not be useful in the current problem-solving context. » [Chrysikou et Weisberg, 2005]

ou professionnels, pris en groupe ou individuellement, qui effectuent une tâche d'idéation (génération d'idées), en un temps donné, dans des conditions différentes : soit avec des instructions (contrôle), soit avec des instructions et un exemple (fixation), soit avec des instructions, un exemple et la consigne de ne pas l'utiliser (défixation) [Chrysikou et Weisberg, 2005]. Les métriques utilisées pour évaluer la tâche sont calculées sur la base du nombre total d'idées, du nombre d'idées comportant certains éléments de l'exemple, et dans certains cas, d'indices de créativité tels que la flexibilité (*flexibility*) et l'originalité (*originality*) [Jansson et Smith, 1991]. Les résultats montrent globalement que la fixation opère aussi bien chez les designers étudiants qu'expérimentés, y compris avec des éléments d'exemples inappropriés - i.e., non ergonomiques ou non fonctionnels - (*negative fixation*) mais, qu'en revanche, une consigne de défixation peut en diminuer partiellement les effets.

Depuis les travaux fondateurs de Jansson et Smith (1991), les mécanismes de fixation ont été observés et étudiés dans plusieurs champs d'application du design : ingénierie de la conception, architecture, développement informatique (*software design*), design d'interaction ou de service (voir références citées dans [Crilly, 2015 - p.54]). Ces études ont progressivement fourni des connaissances sur les raisons de ce phénomène et les potentielles manières d'y remédier. En outre, elles constituent la base de travaux de revue récents qui agrègent les données et les résultats sur cette question, et font ainsi de la fixation en design, une thématique interdisciplinaire de recherche à part entière. A partir de la synthèse dressée par Crilly et coll. [Crilly et Cardoso, 2017 - p.3], nous pouvons donner un aperçu de différents aspects relatifs à la fixation : sa typologie, les différentes méthodologies employées pour l'étudier, et enfin, les principaux résultats permettant de la caractériser et la prédire.

La revue de Youmans et coll. [Youmans et Arciszewski, 2014] établit une classification des différents comportements de fixation, à partir du constat d'une utilisation variée du terme dans des études couvrant un large spectre de disciplines, et donc d'une nécessité de fixer un cadre formel plus précis afin, notamment, de structurer la recherche dans ce domaine. Elle distingue ainsi trois formes principales de fixation en design : l'« adhérence inconsciente » (*unconscious adherence*) correspondant à une association implicite avec des concepts stockés en mémoire ; le « blocage conscient » (*conscious blocking*) provenant de la force de l'expérience et des habitudes acquises (*routines*) qui empêchent potentiellement l'éclosion d'une nouvelle idée ; la « résistance intentionnelle » (*intentional resistance*) relevant d'une attitude conservatrice qui consiste à utiliser des solutions existantes qui fonctionnent plutôt que risquer d'innover en développant une nouvelle idée.

La revue de Vasconcelos et coll. [Vasconcelos et Crilly, 2016] étudie les aspects méthodologiques relatifs à la fixation en recensant, entre autres, les différents types d'expériences et de variables manipulées au cours de ces expériences. Sur la base d'un protocole expérimental standard consistant à poser un problème de design et l'étayer (ou pas) par un exemple - appelé ici, « stimuli » - (cf. paragraphe précédent), la revue fait apparaître des différences de mise en œuvre tant au niveau des propriétés des stimuli (modalité de présentation, quantité, diversité, caractère innovant, etc.) que ceux de la tâche de design en elle-même (origine et expertise des sujets, temps alloué, type d'instructions vis-à-vis de la fixation, modalité de rendu des solutions) ou bien encore des métriques utilisées pour évaluer l'effet de fixation (quantité, variété, qualité, originalité des idées, etc.). En conclusion, l'étude pointe l'influence de cette diversité d'approches sur l'interprétation et la comparaison des résultats, et préconise de standardiser certains aspects méthodologiques tout en explorant des voies moins expérimentales afin d'appréhender le phénomène de fixation en condition réelle de pratique du design.

La revue de Sio et coll. [Sio et al., 2015] examine, quant à elle, les conditions pour lesquelles la présence d'exemples dans un processus de design favorise (ou défavorise) la génération d'idées et de solutions. Elle tente ainsi de répondre à la problématique de la fixation/inspiration dans le cadre classique de design par analogie (*design-by-analogy*) qui consiste à extraire de solutions existantes, des éléments de construction d'une idée nouvelle. Sur la base d'une méta-analyse regroupant 43 études indépendantes (pour un total cumulé de 1229 sujets) décrites par un ensemble de variables communes (quantité, originalité, variété, qualité et proximité des solutions par rapport à l'exemple), l'analyse des interactions permet de caractériser finement l'influence de l'exemple sur la qualité générale du processus d'idéation. En particulier, les résultats montrent que la présence d'exemples tend à modifier la stratégie de recherche d'idées, principalement en resserrant le faisceau de recherche - i.e., en diminuant le nombre d'idées produites - mais en favorisant, du même coup, la « profondeur » de la recherche - i.e., en augmentant la qualité et l'originalité des idées trouvées. En outre, à un niveau individuel, cette tendance s'avère être inversement proportionnelle au nombre d'exemples fournis.

Dans le même temps, les travaux de Crilly et coll. ont élargi cette question, en identifiant, à partir d'un travail de terrain et d'interviews – autrement dit, hors du laboratoire –, une série d'éléments qui encouragent ou, au contraire, inhibent la fixation [Crilly, 2015]. Un questionnaire semi-structuré proposé à une quinzaine de designers professionnels, qualifiés et expérimentés, a permis de recueillir des données qualitatives sur leurs rapports (expériences, attitudes, etc.) à la fixation et d'en inférer sa nature intrinsèque ainsi que ses principaux facteurs d'influence.

En résumé, l'antériorité (*prior art* – solutions développées précédemment dans des cas d'étude similaires), les premières idées (*initial ideas* – idées émergeant au commencement de la phase d'idéation), les contraintes (*constraints* – freins, notamment temporels et financiers, à l'exploration exhaustive de l'espace des solutions), la culpabilité (*blame* – crainte du droit à l'erreur et minimisation de la prise de risque), les instructions (*briefing* – inspirations prédéfinies délivrées durant les séances de *brief*) et l'expérience de l'échec (*experience of failure* – connaissance accumulée sur des solutions défectueuses favorisant une attitude conservatrice) apparaissent comme des catalyseurs de fixation. À l'inverse, le travail d'équipe (*teamwork* – structure de travail collective, plutôt qu'individuelle), la méthode (*methods* – application systématique d'une méthodologie), la facilitation (*facilitation* – expertise de la fixation dans l'accompagnement des phases d'idéation), la capacité de faire (*making* – importance du maquettage et prototypage des concepts), les attentes (*expectations* – anticipation de la demande de diversité des solutions), l'expérience de la variété (*experience of variety* – acquisition d'une culture thématique riche et large sensibilisant à l'existence de solutions variées) et l'expérience de la fixation elle-même (*experience of fixation* – apprentissage de situations sensibles en termes de fixation et de moyens d'y remédier) peuvent jouer un rôle d'inhibiteurs en matière de fixation.

En outre, par une approche de type *workshop*, les travaux de Crilly et coll. initient la constitution d'une communauté de recherche en design sur le sujet et permettent d'aborder la problématique de manière critique, constructive et prospective en définissant des enjeux fondamentaux du type : pourquoi porter un intérêt à la fixation en design ? Peut-on faire preuve de fixation et de créativité en même temps ? Comment les recherches sur la fixation peuvent-elles être améliorées ou menées autrement ? Comment la connaissance sur le phénomène de fixation peut-elle être appliquée ? [Crilly et Cardoso, 2017]

Parmi nos projets récents, deux d'entre eux, relativement emblématiques – design sonore pour l'horlogerie et pour l'automobile (cf. § III.2.2.b) –, constituent potentiellement des études de cas idéales pour initier cette réflexion sur les relations entre créativité et design sonore. En effet, tout en s'inscrivant dans la même thématique générale (signalétique sonore d'objets tangibles), ces deux projets présentent des différences notables, aussi bien structurelles (existence de nombreux exemples similaires vs. absence de références réellement exploitables), méthodologiques (mise en oeuvre rigoureuse du processus analyse-crédation-validation vs. multiplication des sources d'analyse et d'inspiration) que formelles (rapport à un objet miniature, statique et mécanique vs. contexte macroscopique, interactif et synthétique). De ce fait – et bien qu'ils n'aient pas le même statut de diffusion (une clause de confidentialité rend complexe la publication de l'un d'eux) –, l'analyse comparative de leurs cadre, méthodologie et résultat permettrait de soulever des questions essentielles telles que : comment les processus de création en design sonore s'affranchissent-ils des contraintes inhérentes à cette pratique ? Dans un cadre potentiellement restrictif et borné, la création sonore peut-elle dépasser le stade de l'imitation/l'extension de l'existant et produire des formes réellement nouvelles ? Et finalement, de manière plus générale : *l'inouï* est-il possible en design sonore ? [Misdariis et al., 2015].

IV.1.3 Etude des « produits » : statut des sons 'designés'

Nous introduisons cette section par des éléments relatifs au statut des produits du design sonore – les sons 'designés' – issus des enseignements tirés du projet de signature sonore du véhicule électrique (cf. § III.2.2.b). Nous la complétons par des considérations plus prospectives autour de la question suivante : que signifie composer du son pour le design sonore ? (§ IV.1.3.b) – qui pourra, le cas échéant, se prolonger par des ouvertures sur le statut juridique ou patrimonial (*authorship*) des œuvres de design sonore. Dans une optique similaire, nous proposons finalement un axe de réflexion – de nature plutôt historique, voire sociologique – sur la question du répertoire en design sonore (§ IV.1.3.c). À l'instar des collections muséales liées à une époque et une activité, ou bien des répertoires témoignant d'un genre musical donné, nous nous interrogeons sur la pertinence de concevoir un répertoire des productions marquantes en design sonore qui pourrait trouver une légitimité et un intérêt, autant d'un point de vue historique que pédagogique.

IV.1.3.a Statut des sons 'designés' : retour d'expérience

L'étude en design sonore pour le véhicule électrique (VE) a donné lieu à une intéressante validation *a posteriori* sous la forme d'une comparaison précise entre les solutions produites par notre approche de type synthétique et celles produites par l'approche plutôt analytique mise en oeuvre dans le cadre du projet européen eVADER⁹⁹ (2011-2014), traitant des procédés de détection et d'alerte des piétons au voisinage des véhicules silencieux.

En effet, l'un des lots de travail de ce projet (eVADER, WP2) a visé la spécification des sons d'alerte de véhicules électriques en termes de timbre et de seuil perceptif suivant quatre critères : détection, interprétation, localisation et nuisance. Une revue de littérature a spécialement été effectuée dans les domaines de la psychoacoustique (masquage), de l'analyse de scènes auditives (groupement/ségrégation), et de la cognition sonore (saillance). Trois paramètres de timbre ont été définis comme base de conception de signaux sonores d'alerte : la complexité harmonique, c'est-à-dire le nombre de composantes tonales, ainsi que la fréquence et l'amplitude de modulation de ces composantes [Robart, 2012]. Différentes modalités de ces paramètres (p. ex., 3/6/9 harmoniques, ou bien, modulation nulle/régulière/irrégulière de l'amplitude) ont ensuite été testées expérimentalement afin de repérer la combinaison répondant le mieux aux critères imposés initialement (cf. ci-dessus). Parmi ceux-ci, la détectabilité (mesurée par un temps de réaction, converti en distance véhicule-piéton) et le désagrément ou la nuisance (mesuré sur une échelle sémantique) forment un espace métrique dans lequel les solutions proposées peuvent être positionnées et une zone optimale peut être délimitée (Figure 23, noire).

Dans une phase finale du projet (eVADER, WP6), ce corpus de sons construits sur des bases « académiques », jugés parfois trop « basiques » – voire « insipides » – par les participants (ou certains partenaires du projet), a été augmenté du son élaboré dans le cadre du projet de signature sonore du véhicule électrique Zoé (§ III.2.2.b), et identifié pour l'occasion comme « son de marque » (*brand sound*). Les résultats d'une dernière expérience perceptive – en tout point identique à la précédente, mais avec moins de stimuli – ont alors montré que le *brand sound* supportait facilement la comparaison avec les stimuli initiaux et représentait même un compromis relativement optimal aussi bien en termes d'acceptabilité (agrément) que de détectabilité (temps de réaction) [Schmitt, 2014] (Figure 23, rouge).

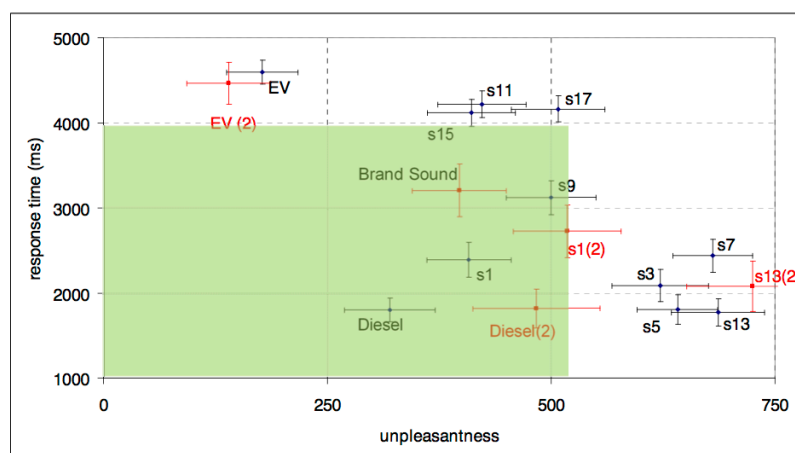


Figure 23. Espace Détection (temps de réponse) vs. Nuisance (désagrément) obtenu dans le cadre du projet eVADER. Les points noirs (●) indiquent les résultats d'une 1^{ère} expérience avec des sons conçus sur la base de 3 paramètres de timbre extraits de la littérature. Les points rouges (●) indiquent les résultats d'une 2^{ème} expérience incluant le "*brand sound*" issu du projet de signature sonore du véhicule électrique Zoé (§ III.2.2.b). La zone verte représente le « meilleur compromis entre détectabilité et agrément » ([Schmitt, 2014 - p.14, Figure 13], avec l'accord de l'auteur).

Ce résultat valide indirectement deux idées importantes : d'une part, qu'une approche de design sonore relativement non conventionnelle et "non linéaire" – telle que celle mise en oeuvre pour le projet Zoé (cf. § III.2.2.b) – n'est pas incompatible avec des impératifs de fonctionnalité et d'acceptabilité, et d'autre part, que le design sonore dans son ensemble constitue une certaine valeur ajoutée par rapport à des 'stimuli de laboratoire', c'est-à-dire des sons conçus uniquement à partir de règles formelles. L'intégration de la composante créative dans une démarche technico-scientifique de ce type confère ainsi au produit du design sonore – le son '*designé*' – un statut particulier, à mi-chemin entre le fonctionnel et l'esthétique [Misdariis et Cera, 2017b].

⁹⁹ <http://evader-project.eu>

IV.1.3.b Que signifie composer pour le design sonore ?

Nous l'avons vu au cours de ce mémoire, l'œuvre de design sonore est, par essence, polymorphe et hétéroclite. Les sons '*designés*' prennent des formats divers et variés : du son très court (quelques centaines de millisecondes dans le cas de certaines interfaces homme-machine sonores) à la nappe sonore/musicale de plusieurs minutes (dans le cas d'œuvres de type "ambiance" ou "installation"), en passant par des séquences bouclées (de type "alarme") ou des sons évolutifs et interactifs de plusieurs secondes. A cette typologie peut également s'ajouter, par extension, une catégorie d'œuvres de type "sculpture sonore" – donc par nature, intemporelle –, comme par exemple, la « Clepsydre Sonore »¹⁰⁰ de Louis Dandrel ou le « Pavillon des Gueilleurs de Sons »¹⁰¹ d'Elie Tête [Regnault, 2002]

Cela étant, les sons '*designés*' peuvent être, en première approche, classés en deux grandes catégories [Susini et al., 2014]. Les sons *non intentionnels*, générés par le simple fonctionnement d'un système, et sur lesquels le designer sonore agit par *modification* de l'existant et par actions mécaniques ou numériques. Ces sons sont inhérents au système considéré – le plus souvent de nature mécanique – et participent à la qualité acoustique perçue par l'utilisateur (p. ex., le bruit de fermeture d'un bâton de rouge à lèvres [Joël Desgrippes] ou d'un briquet de luxe [Lageat et al., 2003]). Les sons *intentionnels* volontairement ajoutés au fonctionnement d'un système, et sur lesquels le designer sonore agit par *création*, également au moyen de traitements mécaniques (p. ex., "instrumentaliser" un objet silencieux pour le rendre audible) ou numériques (p. ex., sonifier une interface ou équiper un espace de diffuseurs pour déployer une signalétique sonore). Ces sons ajoutés sont généralement de nature communicationnelle et contribuent à créer des systèmes ou des objets 'augmentés', c'est-à-dire possédant des facultés supplémentaires par rapport à la réalité.

Cette typologie rejoint d'ailleurs celle formalisée antérieurement par R. van Egmond, E. Ozcan et coll. ((van Egmond, 2008) cité dans [Langeveld et al., 2013]) qui présente une dichotomie similaire entre « sons consécutifs » (*consequential sounds*) et « sons intentionnels » (*intentional sounds*) – chacune de ces catégories requérant différentes compétences et méthodes de design. Dans le champ spécifique du design produit (*product design*), les sons consécutifs répondent à un schéma d'émission de nature acoustique qui implique des mécanismes de transmission solidienne et/ou aérienne (rayonnement), à partir d'une source de bruit faisant partie intégrante du produit (moteur, contacts solides, etc.). Les caractéristiques de ces fonctions de transmission/transfert sont directement liées aux propriétés mécaniques des matériaux (élasticité, isotropie, homogénéité, etc.) qui déterminent notamment les phénomènes de propagation dans la matière ainsi qu'aux données géométriques qui déterminent en partie les fonctions de rayonnement de l'énergie acoustique. Les sons intentionnels, quant à eux, répondent plus généralement à un schéma d'émission de nature électro-acoustique, utilisant des transducteurs (haut-parleurs, actionneurs piezo-électriques, etc.) qui diffusent des sons composés (issus de synthèse ou d'échantillons) en relation avec des données de fonctionnement ou d'état du produit (appui de touche sur une interface tactile, alarme de fin de cycle, etc.).

En outre, au sein de la classe des sons intentionnels, plusieurs catégories peuvent se distinguer suivant les caractéristiques fonctionnelles et les informations que les sons communiquent dans leur contexte d'usage [Susini et al., 2014]. On définit principalement trois ensembles :

- la notification sonore qui informe/alerte l'utilisateur du déclenchement d'un événement (p. ex., l'alarme ou le réveil matin). Dans ce cas, il n'existe a priori aucune relation entre le son et l'action de la personne qui le perçoit même si de nombreuses études cherchent à identifier des liens entre propriétés du son et percepts associés à la notification. Pour les alarmes, par exemple, certains paramètres comme la fréquence fondamentale (*pitch*), la tessiture (*pitch range*), le contenu harmonique, le rythme, le tempo ou même la structure musicale ont été démontrés comme influents dans la perception de l'urgence ressentie [Edworthy et al., 1991]

- le retour sonore qui permet de confirmer l'action de l'utilisateur sur un système (p. ex., le clignotant automobile, ou les icônes sonores utilisées dans les interfaces informatiques). Cette confirmation peut être autant négative que positive et peut jouer un rôle important sur la dimension ergonomique lorsqu'il s'agit, par exemple, d'accompagner l'action dans un contexte d'usage dégradé. A ce sujet, notons, par exemple, l'étude sur l'interface d'un distributeur automatique de billets (ATM) menée par Susini et coll. qui montre, entre autres, que des sons "naturels", c'est-à-dire congruents avec la manipulation de l'ATM (appui sur les touches du clavier), sont perçus comme plus utilisables (*usable*) et plus plaisants que des sons abstraits [Susini et al., 2012].

¹⁰⁰ <http://www.cite-sciences.fr/fr/au-programme/expos-permanentes/les-oeuvres-d-art-a-la-cite-des-sciences/>

¹⁰¹ http://gilles.malatrav.free.fr/sonosphérique_fichiers/pavillon20dgds.jpg

- l'interaction sonore qui informe l'utilisateur sur l'état dynamique d'un système et lui permet de le modifier en fonction de ces informations auditives. Dans ce cas, le son est directement relié à des paramètres de l'action effectuée par l'utilisateur (position, force, accélération, etc.). C'est le cas, par exemple, du son de la montée en régime du moteur automobile ou bien des dispositifs plus expérimentaux comme le *Ballancer* [Rath et Schleicher, 2008], le *Shoogle*¹⁰² [Williamson et al., 2007] ou le *Spinotron* [Lemaitre et al., 2009b]. Tous ces derniers prototypes montrent, par ailleurs, que l'utilisation du son dans l'interaction avec un objet favorise la compréhension et la performance de l'usage. Par exemple, l'étude associée au *Spinotron* – effectuée dans le cadre du projet CLOSED – démontre la valeur ajoutée du retour sonore par rapport au retour visuel pour effectuer une tâche haptique (pompage), notamment en termes de rapidité d'apprentissage.

Par ailleurs, pour nourrir davantage la question initiale (que signifie composer pour le design sonore ?), examinons l'analyse qu'en fait le compositeur Andrea Cera, dans le cadre du projet de signature sonore du véhicule électrique – fortement inspiré du support cinématographique –, en comparant design sonore pour les *medias* et design sonore pour les *produits* [Misdariis et Cera, 2017a]. Il définit notamment trois aspects principaux qui distinguent ces deux approches et leurs mécanismes de création respectifs :

- la « temporalité » : toute référence au monde des médias doit être transposée sous une autre forme de temporalité, de prise en compte de l'interactivité et de la perception spatiale. Pour cela, une solution optimale peut être l'adoption du principe du minimum utile : minimum d'évènements, de bruits ou d'informations (en référence, entre autres, au minimalisme dans le design, exprimée par L. Mies van der Rohe ou implémentée dans le style *streamline* – § I.2).
- le « contexte d'écoute » : dans les médias, le son d'arrière-plan (ambiance) est un élément défini, ce qui permet de contrôler précisément les sons de premier plan, alors qu'en situation réelle, l'aspect aléatoire de l'environnement rend impossible ce contrôle et par là même, le contexte d'écoute à un instant donné.
- la « dualité entre métaphore et contradiction » : dans les médias, les éléments métaphoriques peuvent être partiellement contradictoires tant qu'ils sont unifiés par l'auditeur grâce à des mécanismes de reconstruction de sens, alors que dans la réalité il faut généralement être plus conservateur afin de ne pas créer trop de distance entre le son dédié à l'objet et sa représentation visuelle.

Enfin, s'interroger sur l'acte de composition en design sonore c'est également essayer de comprendre et clarifier la distinction qui s'opère parfois entre création musicale (composition) et création sonore (conception). En guise d'exemples, le sonal (*jingle*) de Bernard Parmegiani pour l'aéroport Roissy Charles de Gaulle¹⁰³ (1971) peut-il être qualifié de pièce maîtresse de la musique électroacoustique ou d'oeuvre pionnière en design sonore ? Dans un autre genre, James Murphy, qui propose de remplacer les *bips* stressants du métro New Yorkais par des sons de carillons joués sur une échelle par tons¹⁰⁴, agit-il en qualité de musicien (notamment, leader de la formation *LCD Soundsystem*) ou bien de designer sonore ? Ou bien encore, les illustrations sonores conçues par Rodolphe Burger (compositeur, guitariste et producteur) pour la ligne T3 du tramway parisien peuvent-elles être considérées comme de courts extraits musicaux ou plutôt des annonces sonores fonctionnelles – finalement peu différentes de celles diffusées sur d'autres lignes du métro ? Là encore, au même titre qu'il s'avère difficile de définir le design sonore lui-même (cf. § I.1), tracer une frontière entre le design sonore et le design musical semble compliqué. Dans ce débat, certains postulats sont pourtant intéressants à prendre en compte. Nous en retiendrons trois qui pourront contribuer à se forger une idée sur la question :

- *primo*, Michael Boumendil, directeur de l'agence d'identité sonore *Sixième Son*, qui, interviewé par X. Collet dans le cadre de l'élaboration du référentiel métier pour la formation en design sonore de l'Esbam (cf. § IV.1.1.c) définit son activité comme du « design musical et pas [du] design sonore » qu'il associe par ailleurs à une activité relative à la marque et « voit vraiment la grande distinction qu'il y a entre [ces] deux métiers » l'un étant « très porté [...] sur la question du son », l'autre étant « vraiment d'abord porté sur la marque » dans le but de « créer de la valeur » (M. Boumendil a d'ailleurs récemment publié un ouvrage intitulé « Design musical et stratégie de marque »¹⁰⁵).

- *segundo*, le chercheur et entrepreneur en marketing sensoriel, Alain Goudey [Goudey, 2007], qui porte une vision assumée d'un design qu'il qualifie de sonore mais qui s'apparente plutôt à du design musical : « le design sonore est quelque chose d'extrêmement utile pour l'entreprise [au travers de] l'empreinte sonore [qu'il laisse] par la voix, la musique ou les sons dans ses différentes prises de parole »¹⁰⁶.

¹⁰² https://www.youtube.com/watch?v=AWc-j4Xs5_w

¹⁰³ <http://www.ina.fr/audio/P14105098>

¹⁰⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=z6nNsqY-qYM>

¹⁰⁵ <https://www.michaelboumendil.com/livre-design-musical-strategie-marque>

¹⁰⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=StavAuVVpXE>

- *tertio*, le doctorant Maxime Carron qui, dans la partie introductive de sa thèse, tente une définition explicite de ces deux domaines : « Le design musical identitaire consiste [...] à choisir ou à composer des musiques ou des fragments musicaux qui correspondent aux messages et aux valeurs que la marque veut exprimer, [...] le design sonore identitaire se focalise sur les sons de l'environnement et des produits, [...] créés volontairement pour remplir une fonction donnée (sons intentionnels) ou [...] générés par le simple fonctionnement des objets (sons non-intentionnels) » [Carron, 2016] (voir ci-dessus).

IV.1.3.c Répertoire du design sonore

La notion de répertoire renvoie en premier lieu, le plus simplement, à un inventaire méthodique (énumération, liste, table, etc.) et fait référence à un recueil, un registre de données – ainsi d'ailleurs, qu'au support physique (livre, cahier carnet) qui rassemble ces informations. Dans le domaine artistique, de manière plus spécifique, le répertoire est « une notion partagée par l'ensemble des arts vivants », voire des arts en général, pour lesquels il représente l'ensemble des œuvres (rôles, chansons, numéros, etc.) qu'un artiste a l'habitude d'interpréter¹⁰⁷, ou plus largement, l'ensemble des motifs décoratifs, formels, iconographiques, propres à un artiste, une époque, une civilisation¹⁰⁸. De manière plus générale enfin, le répertoire peut se définir comme un ensemble d'éléments appartenant à un domaine particulier ou une œuvre rassemblant une grande quantité d'éléments d'un certain type. Il est souvent associé à la notion de typologie, voire d'ontologie, et peut s'incarner dans « un outil taxinomique permettant le classement de ses objets selon des critères historiques, génériques ou esthétiques » [Pouradier, 2013 - pp.12-16].

A ce titre, citons par exemple – et parmi une infinité d'autres –, le travail du couple d'artistes allemands Bernd et Hilla Becher qui se situe à la croisée de l'art photographique et de l'architecture. Ils recensent, de manière systématique, des prises de vue de paysages et bâtiments industriels (châteaux d'eau, tours de refroidissement, gazomètres, puits de mine, silos, hauts-fourneaux, etc.) qui constituent l'essentiel de leur répertoire (cf. exposition monographique, Centre Pompidou, 2004¹⁰⁹). Par cette approche, ils réalisent un véritable travail de « répertorialisation » telle que défini par Pouradier (2013), c'est-à-dire, « un processus de listage entraînant une modification ontologique de son objet » (Figure 24).



Figure 24. Exemples d'œuvres photographiques de Bernd et Hilla Becher : la prise de vue systématique de sujets industriels constitue l'essentiel de leur répertoire. (Crédits : sites Tate Modern, Londres ; MoMa, New-York)

Dans le domaine du design, la notion de répertoire est également très présente aussi bien dans l'acte de recenser des objets ou des productions (cf. la collection privée de Jean-Bernard Hebey, constituée de plusieurs milliers d'objets issus de la création industrielle des années 20 à nos jours, et regroupés lors d'expositions¹¹⁰ dans des thématiques telles que : plastique et bakélite, esthétique domestique, esthétique d'Amérique, etc.) que dans celui de caractériser un artiste ou un courant artistique (cf. le *Répertoire du goût moderne*¹¹¹, revue en 5 volumes réalisée par des membres de l'UAM – Union des Artistes Modernes, dont Charlotte Perriand ou Robert Mallet-Stevens).

¹⁰⁷ <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/repertoire/68374>

¹⁰⁸ <http://www.cnrtl.fr/definition/repertoire>

¹⁰⁹ <https://www.centrepompidou.fr/cpv/resource/c887Rx5/rBKA9rp>

¹¹⁰ p. ex., récemment : <https://www.connaissancedesarts.com/evenement/design-et-esthetique-collection-jean-bernard-hebey/>

¹¹¹ <http://www.regards.monuments-nationaux.fr/fr/feature/391>

La forme du répertoire peut aussi s'avérer pertinente dans une démarche pédagogique, comme moyen de transmission de l'histoire d'une discipline ou comme base de compréhension et d'intégration de l'existant à des fins de maîtrise technique et de créativité. Pour preuve, par exemple, le fond d'objets industriels constitué par la Faculté d'Ingénierie et de Design Industriel (*Industrial Design Engineering*) de l'Université Technique de Delft, au Pays-Bas (TU Delft) et mis à disposition des étudiants, pour la manipulation, l'observation, l'étude et le dessin (Figure 25).



Figure 25. Extrait de la collection d'objets industriels de la Faculté d'Ingénierie et de Design Industriel (Université Technique de Delft, Pays-Bas). Les objets sont mis à disposition des étudiants pour l'étude (conception), la reproduction (dessin) et l'analyse (ergonomie). (Crédit : N. Misdariis)

Dans le domaine du son, de nombreuses initiatives visant à répertorier – si ce n'est à faire répertoire – ont été prises depuis les dernières décennies afin de recenser, cataloguer, voire archiver, un certain nombre de contenus sonores – à l'exception de la musique elle-même. Ainsi, entre autres et plus ou moins en désordre, nous pouvons citer les différentes tentatives de musée ou conservatoire des sons disparus qui permettent de réécouter le son d'objets anciens (téléphone à cadran, machine à écrire, magnéscope, etc.)^{112 113}. Dans la même optique, mais à un niveau plus fondamentale, la matériauthèque sonore ou « atelier de fontes sonores » (Roland Cahen, Ensci – Les Ateliers, 2003) qui propose une entrée sonore à une matériauthèque traditionnelle, ou bien, l'*Auditory Lab* (Laurie Heller, Carnegie Mellon University)¹¹⁴ qui recense méthodiquement les artefacts sonores produits par différentes matières (plastiques, bois, verres, liquides, ...) et interactions (impacts, grattements, roulements, déformations, souffles, ...). A une échelle plus macroscopique, le travail fondateur de Jean-François Augoyard et Henri Torgue (CRESSON) baptisé « Répertoire des effets sonores »¹¹⁵ qui propose un lexique défini et illustré de différents phénomènes liés au signal ou à l'environnement sonore (distorsion, vibrato, rétrécissement, délocalisation, etc.) [Augoyard et Torgue, 1995]. Et concernant l'environnement sonore, notons également les archives de Louis Dandrel rassemblées dans une sonothèque de plus de 40.000 enregistrements thématiques (espaces sonores urbains, ruraux, industriels, quotidiens, etc.) [Habellion, 2015 – § III.2.1], le projet "Sons du Sud"¹¹⁶ (Rémi Adjiman – SATIS) représenté par une base de données d'ambiance et de bruits issus de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur et principalement dédiée au son à l'image, ou bien la démarche de « cartophonies »¹¹⁷ (*sound maps*) qui répertorie des éléments sonores des villes du monde. Toutes ces initiatives, et bien d'autres encore, sont sans compter les nombreuses bases de données sonores (Sound Ideas¹¹⁸, Hollywood Edge¹¹⁹, les archives de la BBC¹²⁰, la plateforme FreeSound¹²¹), etc.) qui constituent des catalogues parfois très complets – le catalogue Sound Ideas comporte, à lui seul, plus de 500.000 échantillons – de sons de comportements humains, de machines, d'éléments naturels ou d'effets spéciaux/artificiels.

¹¹² <http://www.conservethesound.de/en/>

¹¹³ <http://www.savethesounds.info>

¹¹⁴ <http://www.psy.cmu.edu/~auditorylab/website/index/home.html>

¹¹⁵ <http://aau.archi.fr/cresson/cres-s-o-u-n-d/la-boite-a-effets/>

¹¹⁶ <http://sonsdu sud.fr>

¹¹⁷ <http://cartophonies.fr>

¹¹⁸ <https://www.sound-ideas.com/>

¹¹⁹ <https://www.hollywoodedge.com/>

¹²⁰ <http://bbcsfx.acropolis.org.uk/>

¹²¹ <https://freetousesounds.com/sound-library/>

Dans le domaine du design sonore, en revanche, il n'existe (à notre connaissance) que très peu d'études ou de projets qui répertorient, même partiellement, les créations de référence et leur contexte de réalisation. Quelques tentatives ont bien eu lieu au sujet de la sonification des environnements informatiques [Susini et al., 2003 ; Chandès, 2012] mais elles restent ponctuelles, largement non-exhaustives, et de surcroît, elles ne considèrent pas le répertoire comme objet principal de l'étude mais plutôt comme moyen pour une recherche axée sur un autre objectif (respectivement aux références précédentes, une étude perceptive et prescriptive pour le design sonore ou une analyse sémiotique et morphologiques des icônes sonores). Ainsi, au vu des éléments présentés dans cette section, il semble raisonnable de penser que la création d'un répertoire des productions en design sonore – qui inclurait les exemples donnés tout au long de ce document mais également beaucoup d'autres à identifier ... – puisse aussi contribuer à faire du design sonore une discipline à part entière : *sound design as a discipline*.

Conclusion

Ce document expose les grandes lignes d'un projet de recherche visant à intégrer la discipline du design sonore dans le cadre de la recherche en design ; il est formulé à l'occasion de la préparation d'un dossier d'Habilitation à Diriger des Recherches déposé à l'Université de Technologie de Compiègne.

En quatre grandes sections, il présente le cadre général et académique de la problématique en tentant de définir ce qu'est le design sonore puis d'appréhender le vaste champ du design et de la recherche en design (sect. I), le cadre historique de la naissance et du développement du design sonore ainsi que les conditions de son intégration au sein de la recherche musicale à l'Ircam (sect. II), la mise en place d'un cadre scientifique pour le design sonore et le bilan des principales actions de recherche, de développement et de pédagogie que nous avons menées dans le domaine (sect. III), et enfin, les premiers éléments exploratoires ou prospectifs que nous proposons pour prolonger et étendre ce projet scientifique (sect. IV). Cette dernière partie *projet* s'inspire, par ailleurs, du concept de « science du design » développé notamment par Nigel Cross (2006) dont elle transpose la structure en termes de sources et objets d'étude, en articulant la recherche en design sonore autour des *personnes* (designers sonores), des *procédés* (design sonore) et des *produits* (sons '*designés*').

L'objectif de cette proposition est double. D'une part, contribuer à mieux définir et argumenter le champ disciplinaire dans lequel nous travaillons, le design sonore, en faisant notamment l'hypothèse d'un rapprochement constructif avec le design, discipline dont il est susceptible de partager les problématiques, les concepts ou les méthodologies. D'autre part, continuer à fédérer cette même discipline en approchant, le cas échéant, de nouveaux acteurs issus du design, des sciences du design, d'équipes de recherche en sciences des arts, ou bien d'institutions internationales dans le domaine du design et du design sonore.

Concrètement, ce nouvel axe de recherche pourra, par exemple, s'incarner dans de nouvelles actions de recherche fondamentale, de *recherche-projet* ou de *recherche-crédation* qui explorent, chacune à leur manière, des problématiques de design sonore en lien étroit avec des compositeurs. Il pourra également viser le développement de projets à caractère plus fortement sociétal (en lien, par exemple, avec la santé ou l'éducation), et pourra enfin tenter de renforcer la transmission des savoirs afin de sensibiliser les jeunes compositeurs à cette forme de création sonore nouvelle et encore relativement méconnue.

Bibliographie

- Allard-Poesi, F., & Perret, V. (2003). La recherche-action. Eds. Y. Giordano (Conduire un projet de recherche, une perspective qualitative), EMS. pp. 85-132.
- Aramaki, M., Besson, M., Kronland-Martinet, R., & Ystad, S. (2011). Controlling the perceived material in an impact sound synthesizer. *IEEE Transactions on audio, speech and language processing*, 19(2), 301-314.
- Archer, B. (1979). Design as a discipline. *Design studies*, 1(1), 17-20.
- Aucouturier, J. J., Defreville, B., & Pachet, F. (2007). The bag-of-frames approach to audio pattern recognition: A sufficient model for urban soundscapes but not for polyphonic music. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(2), 881-891.
- Augoyard, J. F., & Torgue, H. (1995). *À l'écoute de l'environnement: répertoire des effets sonores*. Editions Parenthèses.
- Bassereau, J. F., Pello, R. C., Faucheu, J., & Delafosse, D. (2015). Les objets intermédiaires de conception/design, instruments d'une recherche par le design. *Sciences du Design*, (2), 48-63.
- Bayazit, N. (2004). Investigating design: A review of forty years of design research. *Design issues*, 20(1), 16-29.
- Bezât, M. C. (2007). *Perception des bruits d'impact Application au bruit de fermeture de porte automobile* (Doctoral dissertation, Université de Provence-Aix-Marseille I).
- Blattner, M. M., Sumikawa, D. A., & Greenberg, R. M. (1989). Earcons and icons: Their structure and common design principles. *Human-Computer Interaction*, 4(1), 11-44.
- Blauert, J. (Ed.). (2005). *Communication acoustics* (Vol. 2). Springer.
- Blauert, J., & Jekosch, U. (1997). Sound-quality evaluation—A multi-layered problem. *Acta acustica united with acustica*, 83(5), 747-753.
- van Boeijen, A., Daalhuizen, J., Zijlstra, J., & van der Schoor, R. (Eds.). (2014). *Delft design guide: Design methods*. BIS publishers
- Boujut, J.-F., Blanco, E. (2003). Intermediary objects as a means to foster co-operation in engineering design. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 12(2), 205-219.
- Boulez, P. L'acoustique et la musique contemporaine. *11e ICA*, 8, 213-216.
- Bregman, A. S. (1994). *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. MIT press.
- Brown, T. (2008). *Design Thinking*. Harvard Business Review, June 2008.
- Buchanan, R. (2001). Design research and the new learning. *Design issues*, 17(4), 3-23.
- Cage, J. (2014). *A Composer's confessions*. Editions Allia.
- Canévet, G., Demany, L., Grimault, N., McAdams, S., & Pressnitzer, D. (2005). La psychoacoustique: science de l'audition, science du son. *Acoustique et techniques*, (42-43), 28-33.
- Caramiaux, B., Susini, P., Bianco, T., Bevilacqua, F., Houix, O., Schnell, N., & Misdariis, N. (2011). Gestural Embodiment of Environmental Sounds: an Experimental Study. In *NIME* (Vol. 11).
- Carron, M., Rotureau, T., Dubois, F., Misdariis, N., & Susini, P. (2017). Speaking about sounds: a tool for communication on sound features. *Journal of Design Research*, 15(2), 85-109.
- Carron, M. (2016). *Méthodes et Outils pour Définir et Véhiculer une Identité Sonore* (Doctoral dissertation, Université Paris 6 (UPMC)).
- Carron, M., Dubois, F., Misdariis, N., Talotte, C., & Susini, P. (2014, October). Designing sound identity: providing new communication tools for building brands corporate sound. In *Proceedings of the 9th Audio Mostly: A Conference on Interaction With Sound* (p. 15). ACM.
- Chandès, G. (2012). La sonification de l'environnement: icônes sonores de Windows. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*, (1).

- Chételat, J. (2009). La figuration cartographique de l'espace sonore. *Images Re-vues. Histoire, anthropologie et théorie de l'art*, (7).
- Chion, M. (1994). *Audio-vision: sound on screen*. Columbia University Press.
- Chion, M. (1983). *Guide des objets sonores: Pierre Schaffer et la recherche musicale*. Buchet/Chastel Eds.
- Chryssikou, E. G., & Weisberg, R. W. (2005). Following the wrong footsteps: fixation effects of pictorial examples in a design problem-solving task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(5), 1134.
- Collison, D. (2008). *The Sound of Theatre: A History:[from the Ancient Greeks to the Modern Digital Age]*. Plasa.
- Corbin, J. M., & Strauss, A. (1990). Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative sociology*, 13(1), 3-21.
- Couprrie, P. (2001). Le vocabulaire de l'objet sonore.
- Crilly, N., & Cardoso, C. (2017). Where next for research on fixation, inspiration and creativity in design?. *Design Studies*, 50, 1-38.
- Crilly, N. (2015). Fixation and creativity in concept development: The attitudes and practices of expert designers. *Design Studies*, 38, 54-91.
- Cross, N. (2011). *Design thinking: Understanding how designers think and work*. Berg.
- Cross, N. (2006). *Designerly ways of knowing*. Springer London.
- Cross, N. (2001). Designerly ways of knowing: Design discipline versus design science. *Design issues*, 17(3), 49-55.
- Cross, N. (1982). Designerly ways of knowing. *Design studies*, 3(4), 221-227.
- Cutkosky, M. R. (1989). On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks. *IEEE Transactions on robotics and automation*, 5(3), 269-279.
- Dandrel, L. (2012). Interview de Louis Dandrel par Jean-Baptiste Millot. Quobuz, 24 sept. 2012. <http://blogs.v2.qobuz.com/les-tetes-de-lart/2012/09/24/louis-dandrel/>
- Dandrel L. (1996). Design Sonore. (document non référencé).
- Darras, B. (2017). Design du codesign – Le rôle de la communication dans le design participatif. MEI – Mediation et Information, juin 2017 (consulté en juin 2018) <https://www.mei-info.com/wp-content/uploads/2017/06/MEI40-143-160-Design-du-codesign.pdf>
- Dautrey, J. (2010). *La Recherche en art (s)*. Ed. MF, Paris.
- Delaune, B. (2009). Cartes postales sonores, cinéma pour l'oreille, ambient music. Esthétiques et procédés picturaux dans les musiques contemporaines, pop-rock et 'expérimentales'. *Images Re-vues. Histoire, anthropologie et théorie de l'art*, (7).
- Delle Monache, S. (2016). Interactive prototypes realized with the SkAT-VG tool. Deliverable 7.7.2. <http://skatvg.iuav.it/wp-content/uploads/2017/01/SkATVGD7.7.2.pdf>
- Delle Monache, S., & Rocchesso, D. (2014). Bauhaus legacy in research through design: The case of basic sonic interaction design. *International Journal of Design*, 8(3), 139-154.
- Deshays, D. (2018). Sous l'avidité de mon oreille – le paradigme du sonore. Eds Klincksieck.
- Dubberly, H. (2004). How do you design. *A compendium of Models*. http://www.dubberly.com/wp-content/uploads/2008/06/ddo_designprocess.pdf
- During, E., Cadiot, O., Bourriaud, N., Szendy, P., Cage, J., & Wodiczko, K. (2010). Prototypes. *Entretien avec Franck Madlener, L'Etincelle, Paris: Ircam*.
- Eckel, G., Iovino, F., & Caussé, R. (1995, July). Sound synthesis by physical modelling with Modalys. In *Proc. International Symposium on Musical Acoustics* (pp. 479-482).
- Edworthy, J., Hellier, E., Titchener, K., Naweed, A., & Roels, R. (2011). Heterogeneity in auditory alarm sets makes them easier to learn. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(2), 136-146.

- Edworthy, J., Loxley, S., & Dennis, I. (1991). Improving auditory warning design: Relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human factors*, 33(2), 205-231.
- Fann, K. T. (2012). *Peirce's theory of abduction*. Springer Science & Business Media.
- Farnell, A. (2010). *Designing sound*. Mit Press.
- Faure, A. (2000). *Des sons aux mots, comment parle-t-on du timbre musical?* (Doctoral dissertation, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS)).
- Findeli, A. (2015). La recherche-projet en design et la question de la question de recherche: essai de clarification conceptuelle. *Sciences du design*, (1), 45-57.
- Findeli, A. (2010). Searching for design research questions: some conceptual clarifications. *Questions, Hypotheses & Conjectures: discussions on projects by early stage and senior design researchers*, 286-303.
- Findeli, A., & Bousbaci, R. (2005). L'éclipse de l'objet dans les théories du projet en design. *The Design Journal*, 8(3), 35-49.
- Findeli, A. (2004, May). La recherche-projet: une méthode pour la recherche en design. In *Texte de la communication présentée au premier Symposium de recherche sur le design à HGK de Bâle sous les auspices du Swiss Design Network, Bâle*.
- Flusser, V. (2002). *Petite philosophie du design*. Circé.
- Franinović, K., & Serafin, S. (Eds.). (2013). *Sonic interaction design*. Mit Press.
- Frankel, L., & Racine, M. (2010, July). The complex field of research: For design, through design, and about design. In *Proceedings of the Design Research Society (DRS) International Conference* (No. 043).
- Frayling, C. (1993). Research in Art and Design [Royal College of Art Research Papers], 1 (1). *London: Royal College of Art*.
- Friedman, K. (2000). Creating design knowledge: from research into practice. *presented at the International Conference on Design and Technology Educational research and Curriculum Development*.
- Gaver, W. W. (1993). What in the world do we hear?: An ecological approach to auditory event perception. *Ecological psychology*, 5(1), 1-29.
- Gaver, W. W. (1989). The SonicFinder: An interface that uses auditory icons. *Human-Computer Interaction*, 4(1), 67-94.
- Gaver, W. W. (1986). Auditory icons: Using sound in computer interfaces. *Human-computer interaction*, 2(2), 167-177.
- Gentes, A. (2017). *In-Discipline of Design – Bridging the Gap between Humanities and Engineering*. Springer.
- Gibbs, T. (2007). *The Fundamentals of Sonic Art and Sound Design*. Ava Publishing.
- Girard, B. (2014). La ville, matériau artistique. *Environnement urbain/Urban Environment*, 8, 97-105.
- Goudey, A. (2007). Une approche non verbale de l'identité musicale de la marque: influence du «timbre» et du «tempo» sur l'image de marque évoquée. *Economics Thesis from University Paris Dauphine*.
- Grey, J. M. (1977). Multidimensional perceptual scaling of musical timbres. *the Journal of the Acoustical Society of America*, 61(5), 1270-1277.
- Guastavino, C. (2006). The ideal urban soundscape: Investigating the sound quality of French cities. *Acta Acustica united with Acustica*, 92(6), 945-951.
- Guastavino, C., Katz, B. F., Polack, J. D., Levitin, D. J., & Dubois, D. (2005). Ecological validity of soundscape reproduction. *Acta Acustica united with Acustica*, 91(2), 333-341.
- Gygi, B. (2001). *Factors in the identification of environmental sounds* (Doctoral dissertation, Indiana University).
- Habellion, D. (2015). *L'objet-exposition " Sonolithe" de Louis Dandrel (1991): un outil pédagogique patrimonial d'éducation à l'écoute en lien avec l'écologie sonore* (Doctoral dissertation, Univ. de Limoges).
- Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2004). CK theory in practice: lessons from industrial applications. In *Proceedings of DESIGN 2004, the 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia* (pp. 245-258).

- Hatchuel, A., & Weil, B. (2002). La théorie CK: fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception, Colloque sciences de la conception, Lyon, 15-16 mars 2002.
- Houix, O., Monache, S. D., Lachambre, H., Bevilacqua, F., Rocchesso, D., & Lemaitre, G. (2016, October). Innovative tools for sound sketching combining vocalizations and gestures. In *Proceedings of the Audio Mostly 2016* (pp. 12-19). ACM.
- Houix, O., Bevilacqua, F., Misdariis, N., Susini, P., Flety, E., Françoise, J., & Groboz, J. (2015, June). Objects with multiple sonic affordances to explore gestural interactions. In *xCoAx conference, Computation, Communication, Aesthetics & X* (pp. 296-303).
- Houix, O., Lemaitre, G., Misdariis, N., Susini, P., & Urdapilleta, I. (2012). A lexical analysis of environmental sound categories. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18(1), 52.
- Houix, O., Lemaitre, G., Misdariis, N., Susini, P., Visell, Y., Franinovic, K., & Rocchesso, D. (2007). Everyday sound classification: Sound perception, interaction and synthesis Part I - State of the art. Deliverable 4.1, CLOSED project.
http://www.closed.ircam.fr/uploads/media/closed_deliverable_4.1_public.pdf
- Houix, O. (2003). *Catégorisation auditive des sources sonores* (Doctoral dissertation, Le Mans).
- Hug, D., & Misdariis, N. (2011, September). Towards a conceptual framework to integrate designerly and scientific sound design methods. In *Proceedings of the 6th Audio Mostly Conference: A Conference on Interaction with Sound* (pp. 23-30). ACM.
- Hug, D. (2011). New wine in new skins: Sketching the future of game sound design. In *Game sound technology and player interaction: Concepts and developments* (pp. 384-415). IGI Global.
- Hug, D. (2010). Investigating narrative and performative sound design strategies for interactive commodities. In *Auditory Display* (pp. 12-40). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hug, D. (2008). Towards a hermeneutics and typology of sound for interactive commodities. In *CHI* (Vol. 8, pp. 11-16).
- Isaksen, S. G., & Treffinger, D. J. (2004). Celebrating 50 years of reflective practice: Versions of creative problem solving. *The Journal of Creative Behavior*, 38(2), 75-101.
- Jansson, D. G., & Smith, S. M. (1991). Design fixation. *Design studies*, 12(1), 3-11.
- Jot, J. M., & Warusfel, O. (1995, September). A real-time spatial sound processor for music and virtual reality applications. In *ICMC: International Computer Music Conference* (pp. 294-295).
- Kang, J., & Zhang, M. (2010). Semantic differential analysis of the soundscape in urban open public spaces. *Building and environment*, 45(1), 150-157.
- Kerber, S., & Fastl, H. (2008). Prediction of perceptibility of vehicle exterior noise in background noise. In *Tagungsband Fortschritte der Akustik-DAGA# 2008, Dresden* (pp. 623-624).
- Krause, B. (2008). Anatomy of the soundscape: evolving perspectives. *Journal of the Audio Engineering Society*, 56(1/2), 73-80
- Krumhansl, C. L. (1989). Why is musical timbre so hard to understand. *Structure and perception of electroacoustic sound and music*, 9, 43-53. Elsevier, Amsterdam
- Lafay, G., Rossignol, M., Misdariis, N., Lagrange, M., & Petiot, J. F. (2018). Investigating soundscapes perception through acoustic scenes simulation – Part I: simulation protocol presentation and case study. *Behavior Research Methods* (en cours de publication).
- Lafay, G., Misdariis, N., Lagrange, M., & Rossignol, M. (2016). Semantic browsing of sound databases without keywords. *Journal of the Audio Engineering Society*, 64(9), 628-635.
- Lafay, G. (2016). *Simulation de scènes sonores environnementales – Application à l'analyse sensorielle et à l'analyse automatique*. (Doctoral dissertation, Ecole Centrale Nantes)
- Lageat, T., Czellar, S. et Laurent, G. (2003). Engineering hedonic attributes to generate perceptions of luxury : Consumer perception of an everyday sound. *Marketing Letters*, 14(2) : 97–109.
- Lakatos, S., McAdams, S., & Caussé, R. (1997). The representation of auditory source characteristics: Simple geometric form. *Perception & psychophysics*, 59(8), 1180-1190.

- Langeveld, L., van Egmond, R., Jansen, R., & Özcan, E. (2013). Product sound design: Intentional and consequential sounds. In *Advances in industrial design engineering*. InTech.
- Langlois, S., Loiseau, S., Tardieu, J., Cera, A., & Misdariis, N. (2010, September). Evaluation de la sonification d'un système multimédia automobile. In *Proceedings of the 22nd Conference on l'Interaction Homme-Machine* (pp. 173-180). ACM.
- Langlois, S., Le Nindre, B., Peteul, C., & Misdariis, N. (2005, September). Man-machine interfaces in cars: technological impact of sound design. In *Forum Acusticum*.
- Lechot-Hirt, L. L. (2015). Recherche-création en design à plein régime: un constat, un manifeste, un programme. *Sciences du design*, (1), 37-44.
- Leiba, R. (2017). *Conception d'un outil de diagnostic de la gêne sonore en milieu urbain* (Doctoral dissertation, Université Pierre & Marie Curie-Paris 6).
- Leiba, R., Ollivier, F., Marchal, J., Misdariis, N., & Marchiano, R. (2017, December). Large array of microphones for the automatic recognition of acoustic sources in urban environment. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 255, No. 5, pp. 2662-2670). Institute of Noise Control Engineering.
- Leiba, R., Marchiano, R., Misdariis, N., & Marchal, J. (2016, August). Urban acoustic imaging: from measurement to the soundscape perception evaluation. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 253, No. 2, pp. 6803-6809). Institute of Noise Control Engineering.
- Lemaitre, G., Houix, O., Voisin, F., Misdariis, N., & Susini, P. (2016a). Vocal imitations of non-vocal sounds. *PloS one*, 11(12).
- Lemaitre, G., Jabbari, A., Misdariis, N., Houix, O., & Susini, P. (2016b). Vocal imitations of basic auditory features. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(1), 290-300.
- Lemaitre, G., & Rocchesso, D. (2014). On the effectiveness of vocal imitations and verbal descriptions of sounds. *The journal of the Acoustical Society of America*, 135(2), 862-873.
- Lemaitre, G., Dessen, A., Susini, P., & Aura, K. (2011). Vocal imitations and the identification of sound events. *Ecological psychology*, 23(4), 267-307.
- 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.
- Lemaitre, G., Houix, O., Visell, Y., Franinović, K., Misdariis, N., & Susini, P. (2009b). 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., Susini, P., Winsberg, S., McAdams, S., & Letinturier, B. (2009a). The sound quality of car horns: Designing new representative sounds. *Acta acustica united with Acustica*, 95(2), 356-372.
- Lemaitre, G., Susini, P., Winsberg, S., McAdams, S., & Letinturier, B. (2007). The sound quality of car horns: a psychoacoustical study of timbre. *Acta acustica united with Acustica*, 93(3), 457-468.
- Lemarchand Claire (2010). Vous avez dit "recherche en design" ?. (Mémoire de Fin d'Etudes, ENSCI).
- Le Masson, P., & McMahon, C. (2016). *Armand Hatchuel et Benoit Weil-La théorie CK, un fondement formel aux théories de l'innovation*. Éditions EMS.
- Le Nindre, B. (2006). *Typage sonore identitaire des bruits automobiles: application au cas du véhicule sportif* (Doctoral dissertation, Paris, ENSAM).
- Lidwell, W., Holden, K., & Butler, J. (2010). *Universal principles of design, revised and updated: 125 ways to enhance usability, influence perception, increase appeal, make better design decisions, and teach through design*. Rockport Pub.
- Louridas, P. (1999). Design as bricolage: anthropology meets design thinking. *Design Studies*, 20(6), 517-535.
- Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjman, S., & Zenasni, F. (2015). *Psychologie de la créativité-2e édition*. Armand Colin.

- Lyon, R. (2000). *Designing for product sound quality*. CRC Press.
- Maffiolo, V. (1999). *De la caractérisation sémantique et acoustique de la qualité sonore de l'environnement urbain*. (Doctoral dissertation, Université du Maine, France).
- Margolin, V. (1995). The politics of the artificial. *Leonardo*, 349-356.
<https://www.leonardo.info/isast/articles/margolin.html>
- Masson, D. (2009). *La perception embarquée. Analyse sensible des voyages urbains* (Doctoral dissertation, Université Pierre Mendès-France-Grenoble II).
- McAdams, S. (2000). The psychomechanics of real and simulated sound sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(5), 2792-2792.
- McAdams, S., Winsberg, S., Donnadiou, S., De Soete, G., & Krimphoff, J. (1995). Perceptual scaling of synthesized musical timbres: Common dimensions, specificities, and latent subject classes. *Psychological research*, 58(3), 177-192.
- Menzel, D., Yamauchi, K., Völk, F., & Fastl, F. (2011). Psychoacoustic experiments on feasible sound levels of possible warning signals for quiet vehicles. In *Tagungsband Fortschritte der Akustik-Tagungsband Fortschritte der Akustik-DAGA 2011, Düsseldorf, Germany*.
- Midal, A. (2009). *Design: introduction à l'histoire d'une discipline*. Eds Pocket.
- Minard, A., Misdariis, N., Houix, O., & Susini, P. (2010, April). Catégorisation de sons environnementaux sur la base de profils morphologiques. In *10ème Congrès Français d'Acoustique*.
- Miranda, E. R. (1995). An artificial intelligence approach to sound design. *Computer Music Journal*, 19(2), 59-75.
- Misdariis, N & Cera, A. (2017a). Recherche-projet en design sonore: le cas emblématique du véhicule électrique. *Sciences du Design*, (1), 115-130.
- Misdariis, N., & Cera, A. (2017b). Knowledge in Sound Design: The Silent Electric Vehicle—A Relevant Case Study. In *Proceedings of the Conference on Design and Semantics of Form and Movement-Sense and Sensitivity, DeSForM 2017*. InTech.
- Misdariis, N., & Sigman, A. (2016). Innovative Sound Design of Car Alarms: A Case Study on Information Needs and Musical Creativity. In *Trends in Music Information Seeking, Behavior, and Retrieval for Creativity* (pp. 166-204). IGI Global.
- Misdariis, N., Cera, A., & Gaxie, S. (2015, October). Créativité et design sonore: étude de cas. In *TCPM-Tracking the Creative Process of Music*.
- Misdariis, N. (2014). *Synthèse-Reproduction-Perception des Sons Instrumentaux et Environnementaux: Application au Design Sonore* (Doctoral dissertation, Paris, CNAM).
- Misdariis, N., Marchiano, R., Susini, P., Ollivier, F., Leiba, R., & Marchal, J. (2014a, October). Mobility and life quality relationships—Measurement and perception of noise in urban context. In *Internoise-International Congress on Noise Control Engineering* (p. 21).
- Misdariis, N., Gerber, J., & Aleonard, J. (2014b, October). Urban environment audio simulation for contextual evaluation of quiet vehicles' sound design. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 249, No. 2, pp. 4957-4966). Institute of Noise Control Engineering.
- Misdariis, N., Gruson, A., & Susini, P. (2013, June). Detectability study of warning signals in urban background noises: a first step for designing the sound of electric vehicles. In *Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013* (Vol. 19, No. 1, p. 040032). ASA.
- Misdariis, N., Cera, A., Levallois, E., & Locqueteau, C. (2012, April). Do electric cars have to make noise? An emblematic opportunity for designing sounds and soundscapes. In *Acoustics 2012*.
- Misdariis, N., Tardieu, J., Langlois, S., & Loiseau, S. (2011). Menu sonification in an automotive media center: design and evaluation. *Human-Computer Interactions in Transport*, Ed. Christophe Kolski. (ISTE Ltd - John Wiley & Sons Inc), pp. 233-281
- Misdariis, N., Minard, A., Susini, P., Lemaitre, G., McAdams, S., & Parizet, E. (2010). Environmental sound perception: Metadescription and modeling based on independent primary studies. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing*, 2010(1), 362013.

- Misdariis, N., Houix, O., Derio, M., & Dos Santos, R. (2007). Approche Perceptive pour la Synthèse Sonore par Modélisation Physique (Modalys), In *1ères Journées du Groupe Perception Sonore, SFA*.
- Misdariis, N., Warusfel, O., Causse, R., & Nicolas, F. (2002a). Le contrôle de la directivité par un système multi haut-parleurs – Applications. *JIM Marseille*.
- Misdariis, N., Causse, R., Dandrel, L., Bensoam, J., & Vergez, C. (2002b, March). Modalys, un outil pour le design sonore. In *1ères Journées du Design Sonore*.
- Misdariis, N., Warusfel, O., & Causse, R. (2001, September). Radiation control on a multi-loudspeaker device. In *Proc. International Computer Music Conference, ICMA* (pp. 306-309).
- Misdariis, N., Smith, B. K., Pressnitzer, D., Susini, P., & McAdams, S. (1998). Validation of a multidimensional distance model for perceptual dissimilarities among musical timbres. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(5), 3005-3006.
- Moles, A. A. (1960). *Les musiques expérimentales: revue d'une tendance importante de la musique contemporaine*. Éditions du Cercle d'art contemporain.
- Morel, J., Marquis-Favre, C., Gille, L. A. (2016). Noise annoyance assessment of various urban road vehicle pass-by noises in isolation and combined with industrial noise: A laboratory study. *Applied Acoustics*, 101, 47-57.
- Morel, J., Marquis-Favre, C., Dubois, D., & Pierrette, M. (2012). Road traffic in urban areas: A perceptual and cognitive typology of pass-by noises. *Acta acustica united with acustica*, 98(1), 166-178.
- Napier, J. R. (1956). The prehensile movements of the human hand. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 38(4), 902-913.
- Nicolas, F. (2000). Comment la musique prend-elle acte d'un espace architectural? In *L'espace re(dé)composé*, colloque Ircam.
<http://www.entretemps.asso.fr/Timee/Espace.html>
- Nelken, I., & de Cheveigné, A. (2013). An ear for statistics. *Nature neuroscience*, 16(4), 381.
- de Noblet, J. (1996). Changements de formes. In *Penser le futur*, Eds PSA – Peugeot-Citroën, Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques, pp. 38-52.
- Nyeste, P., & Wogalter, M. S. (2008, September). On adding sound to quiet vehicles. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 52, No. 21, pp. 1747-1750). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.
- Nykänen, A. (2008). *Methods for product sound design* (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet).
- Otto, N. C., Simpson, R., & Wiederhold, J. (1999). *Electric vehicle sound quality* (No. 1999-01-1694). SAE Technical Paper.
- Özcan, E. (2014). The Harley effect: Internal and external factors that facilitate positive experiences with product sounds. *Journal of Sonic Studies*, 6(1).
- Ozcan, E., & van Egmond, R. (2009). Product Sound Design: An Inter-Disciplinary Approach? In *Proceed. of Undisciplined! Design Research Society Conference*, Sheffield Hallam University, Sheffield, UK.
- Ozcan-Vieira, E. (2008). *Product sounds: fundamentals and application* (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).
- Özcan, E., & van Egmond, R. (2006). Product sound design and application: An overview. In *Proceedings of the fifth international conference on desing and emotion, Gothenburg*.
- Palladino, D. K., & Walker, B. N. (2007). Learning rates for auditory menus enhanced with spearcons versus earcons. In *Proceedings of International Conference on Auditory Display*. Georgia Institute of Technology.
- Parseihian, G., & Katz, B. F. (2012). Morphocons: A new sonification concept based on morphological earcons. *Journal of the Audio Engineering Society*, 60(6), 409-418.
- Patterson, R. D., & Datta, A. J. (1999). Extending the domain of auditory warning sounds- Creative use of high frequencies and temporal asymmetry. *Human factors in auditory warnings(A 99-41051 11-54)*, Aldershot, United Kingdom and Brookfield, VT, Ashgate, 1999,, 73-88.

- Pecquet F. (2018). Du design sonore au design musical. In *Cahiers de la Soc. Québécoise de Recherche en Musique - SQRM* (en cours de soumission).
- Pecquet F. (2017). Design sonore et création : conception et méthode. Institut ACTE (non publié).
- Peeters, G., & Deruty, E. (2010). Sound indexing using morphological description. *IEEE Transactions on audio, speech, and language processing*, 18(3), 675-687.
- Petit, V. (2017). Perspectives sur le design. Métier, enseignement, recherche. *Cahiers COSTECH*, (1). <http://www.costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article26>
- Petit, V., & Deldicque, T. (2017). La recherche en design avant la "recherche en design". *Cahiers COSTECH*, (1). <http://www.costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article25>
- Pierson, R., & Bozmoski, A. (2003). Harley-Davidson's 100th Anniversary-The Sound of a Legend. *Sound and Vibration*, 37(3), 14-17.
- Polack, J. D., Beaumont, J., Arras, C., Zekri, M., & Robin, B. (2008). Perceptive relevance of soundscape descriptors: a morpho-typological approach. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5), 3810.
- Pouradier, M. (2013). *Esthétique du répertoire musical. Une archéologie du concept d'œuvre*. PUR.
- PUCA (2005). Construire avec les sons. In *Actes du colloque " Plan Urbanisme Construction Architecture "*
- Quarante, D. (1994). *Eléments de design industriel*. Polytechnica.
- Rath, M., & Schleicher, R. (2008). On the relevance of auditory feedback for quality of control in a balancing task. *Acta acustica united with acustica*, 94(1), 12-20.
- Regnault, C. (2002, March). Composer la ville - Quelle esthétique pour le design sonore en milieu urbain. In *1ères Journées du Design Sonore*.
- Robare, P. (2009a). *Sound in Product Design* (Doctoral dissertation, Master thesis in Interaction Design [Master thesis]. Pittsburgh, USA: Carnegie Mellon University School of Design).
- Robare, P. (2009b). *Designing with Sound*. (Doctoral dissertation, Master thesis in Interaction Design [Master thesis]. Pittsburgh, USA: Carnegie Mellon University School of Design).
- Robart, R. (2012). Parameter selection and stimuli design proposal. In *eVADER WP2 Deliverable D2.1* [Available from Internet. Accessed: 2018-07-11] http://www.evader-project.tu-darmstadt.de/eVader/delivrables/WP2/eVADER_WP2_D2.1_%2014_6_2012.pdf
- Rocchesso, D., Lemaitre, G., Susini, P., Ternström, S., & Boussard, P. (2015). Sketching sound with voice and gesture. *interactions*, 22(1), 38-41.
- Rocchesso, D. (2014). Sounding objects in Europe. *The New Soundtrack*, 4(2), 157-164.
- Rocchesso, D., Serafin, S., Behrendt, F., Bernardini, N., Bresin, R., Eckel, G., Franinovic, K., Hermann, T., Pauletto, S., Susini, P., Visell, Y. (2008, April). Sonic interaction design: sound, information and experience. In *CHI'08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3969-3972). ACM.
- Rodriguez, W. (2003). *Le design sonore, naissance d'une catégorie musicale*. (Doctoral dissertation, Master thesis, EHESS).
- Rosch, E., & Lloyd, B. B. (Eds.). (1978). Cognition and categorization.
- Rossignol, M., Lafay, G., Lagrange, M., & Misdariis, N. (2015, January). SimScene: a web-based acoustic scenes simulator. In *1st Web Audio Conference (WAC)*.
- Rossing, T. D. (1994). Acoustics of the glass harmonica. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 95(2), 1106-1111.
- Roussarie, V. (1999). *Analyse perceptive de structures vibrantes simulées par modèle physique*. (Doctoral dissertation, Université du Maine, Le Mans, France).
- Russolo, L. (2003). *L'Art des Bruits*, (1913). Paris: Allia.
- Schaeffer, P., Reibel, G., Ferreyra, B., Chiarucci, H., Bayle, F., Tanguy, A., ... & Schwarz, J. (1967). *Solfège de l'objet sonore*. INA/GRM.
- Schaeffer, P. (1966). *Traité des objets musicaux*. Le Seuil, Paris

- Schaeffer, P. (1952). *A la recherche d'une musique concrète*. Le Seuil, Paris.
- Schafer, R. M. (2010). *Le paysage sonore: musique du monde*. Wildproject.
- Schafer, R. M. (1979). *Le paysage sonore*. Ed. Lattès.
- Schafer, R. M. (1977). *The tuning of the world*. Alfred A. Knopf, 1^{ère} édition.
- Schmitt, T. (2014). Example of warning sound suitable for Nissan, Renault and PSA. In *eVADER WP6 Deliverable D6.5*. [Available from Internet. Accessed: 2016-03-30]
http://baerbel.szm.maschinenbau.tu-darmstadt.de/evader/delivrables/WP6/eVADER_WP6_D6_5_23_09_2014.pdf
- Schulte-Fortkamp, B. (2013, June). Soundscape-focusing on resources. In *Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013* (Vol. 19, No. 1, p. 040117). ASA.
- Schwarz, D., Cahen, R., & Britton, S. (2008, March). Principles and applications of interactive corpus-based concatenative synthesis. In *Journées d'Informatique Musicale (JIM)* (pp. 1-1).
- Serafin, S., de Götzen, A., Böttcher, N., & Gelineck, S. (2006, June). Synthesis and control of everyday sounds reconstructing Russolo's Intonarumori. In *Proceedings of the 2006 conference on New interfaces for musical expression* (pp. 240-245). IRCAM—Centre Pompidou.
- Sigman, A., Misdariis, N., & Megyeri, M. (2013, November). alarm/will/sound: A Multidisciplinary Research/Installation Project. In *Korean Electro-Acoustic Music Society's 2013 Annual Conference (KEAMSAC2013)*.
- Sio, U. N., Kotovsky, K., & Cagan, J. (2015). Fixation or inspiration? A meta-analytic review of the role of examples on design processes. *Design Studies*, 39, 70-99.
- Solomos, M. (2012). Entre musique et écologie sonore: quelques exemples. *Sonorités*, p-167.
- Suied, C., Susini, P., & McAdams, S. (2008). Evaluating warning sound urgency with reaction times. *Journal of experimental psychology: applied*, 14(3), 201.
- Susini, P., Houix, O., & Misdariis, N. (2014). Sound design: an applied, experimental framework to study the perception of everyday sounds. *The New Soundtrack*, 4(2), 103-121.
- Susini, P., Misdariis, N., Lemaitre, G., & Houix, O. (2012). Naturalness influences the perceived usability and pleasantness of an interface's sonic feedback. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 5(3-4), 175-186.
- Susini, P. (2011). Le design sonore: un cadre expérimental et applicatif pour explorer la perception sonore. *Habilitations diriger des recherches, Université de la Méditerranée-Aix-Marseille II, Marseille, France*.
- Susini, P., Gaudibert, P., Deruty, E., & Dandrel, L. (2003). Perceptive study and recommendation for sonification categories. In *Proceedings of International Conference on Auditory Display*. Georgia Institute of Technology.
- Szendy, P. (1999, June). Dans et design sonore – François Raffinot et Louis Dandrel rejoignent l'Ircam. In *Résonance* (15) <http://articles.ircam.fr/textes/Szendy99a/index.html>
- Tardieu, J., Misdariis, N., Langlois, S., Gaillard, P., & Lemercier, C. (2015). Sonification of in-vehicle interface reduces gaze movements under dual-task condition. *Applied ergonomics*, 50, 41-49.
- Timoshenko, S. P., & Woinowsky-Krieger, S. (1959). *Theory of plates and shells*. McGraw-hill.
- Truax, B. (1984). *Acoustic Communication*, New Jersey: Ablex Publishing
- Valentin, D., Chollet, S., Lelièvre, M., & Abdi, H. (2012). Quick and dirty but still pretty good: A review of new descriptive methods in food science. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(8), 1563-1578.
- Vanderveer, N. J. (1979). *Ecological acoustics: human perception of environmental sounds*. (Doctoral dissertation, Cornell University, New-York) (unpublished).
- Vannier, M., Misdariis, N., Susini, P., & Grimault, N. (2018). How does the perceptual organization of a multi-tone mixture interact with partial and global loudness judgments?. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143(1), 575-593.
- Vanwynsberghe, C. (2016). *Réseaux à grand nombre de microphones: applicabilité et mise en œuvre* (Doctoral dissertation, Paris 6).

- Vasconcelos, L. A., & Crilly, N. (2016). Inspiration and fixation: Questions, methods, findings, and challenges. *Design Studies*, 42, 1-32.
- Vial, S., & Findeli, A. (2015). Quelles sciences du design? *Sciences du design*, (1), 9-11.
- Vial, S. (2015a). *Le design*. Que sais-je - No. 3991, Presses Universitaires de France.
- Vial, S. (2015b). Qu'est-ce que la recherche en design? Introduction aux sciences du design. *Sciences du Design*, (1), 22-36.
- Vial, S., & Jouin, P. (2010). *Court traité du design*. Presses universitaires de France.
- Volcler, J., & Stoichita, V. A. (2017). Armes sonores et musiques d'ambiance. Tuer, punir, manipuler et discipliner les foules par les sons [entretien]. *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*, (68), 132-149.
- Walker, B. N., Nance, A., & Lindsay, J. (2006). Spearcons: Speech-based earcons improve navigation performance in auditory menus. In *Proceedings of International Conference on Auditory Display*. Georgia Institute of Technology.
- Weber, N. F. (2015). *La Bande du Bauhaus*. Fayard.
- Weinreich, G. (1997). Directional tone color. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 101(4), 2338-2346.
- Wessel, D. L. (1979). Timbre space as a musical control structure. *Computer music journal*, 45-52.
- Whittington, W. (2007). *Sound design and science fiction*. University of Texas Press.
- Williamson, J., Murray-Smith, R., & Hughes, S. Shoogle: excitatory multimodal interaction on mobile devices. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 121-124). ACM. (2007).
- Wogalter, M. S., Ornan, R. N., Lim, R. W., & Chipley, M. R. (2001, October). On the risk of quiet vehicles to pedestrians and drivers. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 45, No. 23, pp. 1685-1688). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Youmans, R. J., & Arciszewski, T. (2014). Design fixation: Classifications and modern methods of prevention. *AI EDAM*, 28(2), 129-137.
- Zattra, L., Misdariis, N., Pecquet, F., Donin, N., Fierro, D. (2018, November). Analysis of Sound Design Practices (ASDP) – Research methodology. In *Proceedings of CIM, Udine*.
- Zattra, L., & Donin, N. (2016). A questionnaire-based investigation of the skills and roles of Computer Music Designers. *Musicae Scientiae*, 20(3), 436-456.
- Zheng, J. Z., De La Rosa, S., & Dollar, A. M. (2011, May). An investigation of grasp type and frequency in daily household and machine shop tasks. In *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on* (pp. 4169-4175). IEEE.

Nb. : sauf mention contraire, les liens Internet (http) – en note de bas de page ou dans les références bibliographiques – ont tous été consultés quelques jours avant la finalisation du mémoire (mi-oct. 2018). Dans les versions numériques (doc ou pdf), il se peut que l'ouverture de certaines pages Web ne s'effectue pas correctement, à cause d'espaces ou de caractère spéciaux incompatibles avec les interpréteurs de lien hypertexte associés. Dans ce cas, pour accéder à la page souhaitée, la solution consiste à faire un copier/coller du lien directement dans le bandeau du navigateur.

