



**HAL**  
open science

# Écouter l'architecture : outils numériques et conception ambientale, la piste du sonore renouvelée

Théo Marchal

► **To cite this version:**

Théo Marchal. Écouter l'architecture : outils numériques et conception ambientale, la piste du sonore renouvelée. Art et histoire de l'art. Université Grenoble Alpes [2020-..], 2021. Français. NNT : 2021GRALH030 . tel-03626662

**HAL Id: tel-03626662**

**<https://theses.hal.science/tel-03626662>**

Submitted on 31 Mar 2022

**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.

## **THÈSE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE GRENOBLE ALPES**

Spécialité : **Architecture**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

**Théo MARCHAL**

Thèse dirigée par **Grégoire CHELKOFF, Professeur, École Nationale Supérieure d'Architecture**

préparée au sein du **Laboratoire AAU, équipe CRESSON**

dans l'**École Doctorale**

**Sciences de l'Homme, du Politique et du Territoire (n°454)**

## **Écouter l'architecture : Outils numériques et conception ambiante, la piste du sonore renouvelée**

Thèse soutenue publiquement le « **15 décembre 2021** »,  
devant le jury composé de :

**Mme, Carlotta, DARO**

Maître de conférences ENSA Paris Malaquais, Rapporteur

**Mr, Emmanuel, GOURDON**

Professeur ENTPE, Rapporteur

**Mr, Roland, CAHEN**

Enseignant chercheur ENSCi les ateliers, Membre du jury

**Mme, Cécile, REGNAULT**

Professeure ENSA Lyon, Présidente





# Thèse de doctorat

Spécialité : Architecture

**présentée par**

Théo Marchal

École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble,

Laboratoire AAU, équipe CRESSON,

*theo.marchal@grenoble.archi.fr*

**pour l'obtention du titre de**

Docteur en architecture

**sur le sujet**

Écouter l'architecture

*Outils numériques et conception ambiante, la piste du sonore renouvelée*

**directeur de thèse**

Grégoire CHELKOFF

**soutenue devant le jury composé de :**

Carlotta DARO, Maître de conférences ENSA Paris Malaquais, (*Rapporteuse*)

Emmanuel GOURDON, Professeur ENTPE, (*Rapporteur*)

Roland CAHEN, Enseignant chercheur ENSCi les ateliers,

Elise GEISLER, Maître de conférences École de paysage d'Angers,

Cécile REGNAULT, Professeure ENSA Lyon,

**Mots-clés** - Ambiances, Espace sonore, Acoustique, Outils numériques, Aide à la conception, Expérience sensible, Espace, Architecture, Outils paramétriques



# Résumé

Cette thèse de doctorat en architecture s'inscrit dans le champ des recherches sur les phénomènes sensibles et les environnements vécus menées par le laboratoire AAU et l'équipe CRESSON depuis plusieurs années. Ce travail a plus spécifiquement pour objet l'étude de l'espace sonore en tant que paramètre de l'environnement physique et de la qualité de vie des espaces qui y sont associés. Ainsi, partant de l'espace sonore, nous avons tenté d'élargir les interrogations induites par la prise en compte des phénomènes physiques afin d'y faire rentrer d'autres considérations tout aussi importantes pour la qualité des espaces vécus - à travers le lien social, la notion d'intimité, les rapports de perceptions proches et lointaines ou plus largement l'enjeu de l'expérience subjective, toujours en relation avec le contexte environnant.

Nous avons pour objectif de tester dans quelle mesure le son peut être un médium approprié à une prise en compte plus large des ambiances dans la conception architecturale en favorisant une posture -au sens propre comme au sens figuré- du concepteur. Ceci lui confère une autre relation avec l'environnement projeté en décadrant son rapport au projet. Le développement d'un outil numérique et les interrogations que cela suscite nous pousseront également à envisager l'apparition des nouveaux outils de conception et d'évaluation numériques dans l'environnement du concepteur spatial comme un élément potentiel de redéfinition des modes de projet en renouvelant une réflexion sur la qualité des ambiances et des espaces vécus.

Pour cela, nous avons développé un logiciel appelé "*EsquisSons*" permettant d'esquisser l'environnement sonore. Il a été testé à travers des expérimentations en contexte qui ont pris la forme d'ateliers ou d'expériences impliquées. Cela nous a permis de parcourir et de questionner le processus du projet architectural de la conception jusqu'à l'évaluation à travers les prismes du sonore et de l'outil numérique "en acte"; ce qui se traduit par les questions suivantes : *Comment le son peut-il être associé à un ou des vecteurs particuliers de prise en compte des espaces vécus au-delà des évaluations quantitatives acoustiques traditionnelles ?* et : *Quels peuvent-être la place et le potentiel de l'outil numérique dans une perspective de prise en compte des ambiances dans le projet architectural ?*

Nous avons choisi de répondre à ces questions à travers l'observation de trois corpus, tous associés à l'outil. C'est l'outil lui-même qui constitue le premier corpus, il s'agit d'analyser et d'explicitier ses évolutions du début à la fin de la recherche. Le second corpus est constitué des observations menées lors des ateliers et des productions des participants. Le troisième et dernier corpus regroupe les autres expériences que nous avons pu mener avec *EsquisSons* en dehors des ateliers et qui nous sont apparues pertinentes pour appuyer nos observations.

Les différents temps de progression du développement de l'outil, à travers les questionnements, les améliorations, les ajouts dont il a fait l'objet, ainsi que l'analyse des observations menées concernant son utilisation nous ont permis de tester nos hypothèses et de montrer le potentiel mais aussi les limites des outils numériques et du sonore pour la conception architecturale dans une perspective sensible.



# Abstract

This PhD thesis in architecture is part of the research on sensitive phenomena and lived environments conducted by the AAU laboratory and the CRESSON team for several years. More specifically, this work aims to study sound in space as a parameter of the physical environment and the quality of life in spaces. Thus, starting from the sound in space, we have attempted to broaden the questions raised by taking into account physical phenomena in order to include other considerations that are equally important for the quality of the spaces experienced - through the social link, the notion of intimacy, the relationship between close and distant perceptions or, more broadly, the issue of subjective experience, always in relation to the surrounding context.

Our aim is to test how sound can be an appropriate medium for a broader consideration of ambiances in architectural design by promoting a posture - literally and figuratively - for the designer. This provides the designer with a different relationship to the projected environment by shifting his focus.

The development of a digital tool and the questions that it raises will also lead us to consider the emergence of new digital design and evaluation tools in the environment of the spatial designer as a potential element for redefining the modes of project by renewing a reflection on the quality of the ambiances and the spaces experienced.

To this end, we have developed a software called "*EsquisSons*" to sketch the sound environment. It was tested through experiments in context, which took the form of workshops or involved experiments. This allowed us to explore and question the process of the architectural project from conception to evaluation through the prism of sound and the digital tool "in act" which translates into the following questions : How can sound be associated with one or more particular vectors of consideration of lived spaces beyond traditional quantitative acoustic evaluations? and : What can be the place and the potential of the digital tool in a perspective of considering ambiances in the architectural project?

We have chosen to answer these questions through the observation of three corpora, all associated with the tool. The first corpus is the tool itself, and the aim is to analyze and explain its evolution from the beginning to the end of the research. The second corpus is based on the observations made during the workshops and the participants' productions. The third and final corpus is composed of the other experiences that we were able to carry out with *EsquisSons* outside the workshops and that appeared to be relevant to support our observations.

The different phases of the tool's construction, through questioning, improvements and additions, as well as the analysis of observations made during its use, allowed us to test our hypotheses and to show the potential, but also the limits of digital tools and sound for architectural design from a sensitive perspective.



# Sommaire

<b>Avant propos</b>	<b>15</b>
<b>Introduction</b>	<b>17</b>
<b>1 Espace Sonore et Perception Ambientale</b>	<b>23</b>
1.1 Le son dans l'espace . . . . .	23
1.1.1 Son, bruit et dérivés . . . . .	23
1.1.2 Qu'est-ce que le son ? Une introduction à l'espace sonore . . . . .	24
1.1.3 Origines, mathématiques, musique et acoustique architecturale . . . . .	25
1.1.4 La place du son dans la conception . . . . .	28
1.2 Pourquoi le son ? Un potentiel pour la conception ambientale . . . . .	30
1.2.1 Le sonore et les autres modalités sensibles . . . . .	30
1.2.2 Milieux et ambiances en architecture . . . . .	31
1.3 Vers un outil d'esquisse sonore . . . . .	32
<b>2 L'outil d'esquisse numérique comme système de conception architecturale</b>	<b>33</b>
2.1 Introduction à la notion d'"outil" . . . . .	33
2.1.1 L'outil comme notion, mise en perspective du monde à l'objet . . . . .	33
2.1.2 Architecture et objet technique, pourquoi un outil ? . . . . .	36
2.1.3 Outil et machine / technique et technologie . . . . .	40
2.2 L'outil et l'automate . . . . .	44
2.2.1 Les objets techniques et l'automatisme . . . . .	44
2.2.2 Vers l'adaptabilité . . . . .	44
2.2.3 Rapport à l'outil : objet doté d'un mode d'agir propre . . . . .	46
2.3 Didactique de l'outil . . . . .	47
2.3.1 Entre l'instrument et l'artefact . . . . .	47

2.3.2	Relation forte entre le processus d'acquisition et le faire . . . . .	49
2.3.3	Didactique : outils numériques et conception architecturale . . . . .	50
2.4	Technique, conception et création . . . . .	51
2.4.1	L'impact de l'outil sur la création : l'architecte et ses outils . . . . .	51
2.5	Le déterminisme de l'outil sur la conception . . . . .	52
2.5.1	Différents types d'outils . . . . .	53
2.5.2	Poïétique de l'outil, poïétique des ambiances . . . . .	55
2.6	L'esquisse . . . . .	59
2.6.1	Entre esquisse et simulation . . . . .	59
2.6.2	L'esquisse, un instrument adaptatif? . . . . .	62
2.6.3	L'esquisse comme outil de conception des ambiances . . . . .	65
2.6.4	Renouvellement de l'esquisse à l'ère numérique (la place de l'outil de programmation) . . . . .	66
<b>3</b>	<b>Exemples d'outils et principes d'évaluations</b>	<b>73</b>
3.1	Les critères de choix . . . . .	73
3.1.1	L'évaluation et la simulation des ambiances . . . . .	73
3.1.2	Les critères "typologiques" . . . . .	74
3.1.3	Les critères techniques . . . . .	75
3.1.4	Analyse focalisée des outils sélectionnés . . . . .	76
3.2	Les outils autonomes . . . . .	78
3.2.1	Isimpa . . . . .	78
3.2.2	Acoubat . . . . .	79
3.2.3	Radiance . . . . .	80
3.2.4	EMRT-system . . . . .	81
3.2.5	GAN Loci . . . . .	82
3.3	Les outils « extensions » (ou plug-ins) . . . . .	83
3.3.1	Ladybug tools . . . . .	84
3.3.2	Kangaroo et Karamba 3D . . . . .	86
3.3.3	Pachyderm Acoustic . . . . .	88
3.3.4	Plug-ins pour REVIT . . . . .	89
3.3.5	Odeon Sketchup . . . . .	90
3.4	Quelles ressources pour EsquisSons? . . . . .	90
<b>4</b>	<b>Méthode et terrains</b>	<b>93</b>

4.1	Élaboration des méthodes . . . . .	93
4.1.1	Les critères . . . . .	93
4.1.2	Les matériaux . . . . .	95
4.2	La méthode d' "enquête" . . . . .	98
4.3	L'étude des rendus et productions . . . . .	100
<b>5</b>	<b>Premier corpus, l'outil</b>	<b>103</b>
5.1	Les bases de fonctionnement . . . . .	103
5.1.1	L'articulation aux outils existants, de l'architecte au musicien	103
5.1.2	Les pistes initiales . . . . .	106
5.1.3	Le fonctionnement utilisateur et les calculs acoustiques . . . . .	107
5.2	Les phases de développement . . . . .	111
5.2.1	La progression du fonctionnement . . . . .	111
5.2.2	L'évolution des calculs et modèles acoustiques . . . . .	113
5.3	Les choix de développement . . . . .	114
5.3.1	Choix d'organisation et d'interface . . . . .	114
5.3.2	Choix des calculs qui permettent l'auralisation . . . . .	122
5.3.3	Autres évolutions techniques . . . . .	129
5.3.4	Transformations et objectif global . . . . .	130
5.4	Le solfège d'EsquisSons . . . . .	131
5.4.1	Le vocabulaire (description des composantes de l'outil) . . . . .	131
5.4.2	Les effets principaux . . . . .	133
5.4.3	Les autres effets . . . . .	136
5.4.4	Les nouveaux effets . . . . .	137
5.4.5	L'apport des effets . . . . .	139
5.4.6	Les configurations . . . . .	140
5.4.7	Les configurations de situations . . . . .	141
5.4.8	Les configurations de combinaison . . . . .	142
5.4.9	Un mode d'emploi et un test . . . . .	144
<b>6</b>	<b>Deuxième corpus, les ateliers</b>	<b>145</b>
6.1	Les ateliers, présentation générale . . . . .	145
6.1.1	Déroulé, méthode et critères . . . . .	145
6.2	Carnet de terrain – École d'hiver 2016 . . . . .	147
6.2.1	Présentation et déroulé de l'atelier . . . . .	147

6.2.2	Résultats et transformations . . . . .	149
6.3	Carnets de Terrain - École d'hiver 2017 . . . . .	151
6.3.1	Présentation et déroulé de l'atelier . . . . .	151
6.3.2	Productions et résultats . . . . .	153
6.3.3	Questionnaire . . . . .	159
6.3.4	Un questionnaire orienté vers la formation . . . . .	160
6.3.5	Des apports méthodologiques et opérationnels . . . . .	162
6.4	Carnets de terrain - Option « design sonore et acoustique architecturale » 2017/2018 . . . . .	163
6.4.1	Présentation et déroulé de l'atelier . . . . .	163
6.4.2	Productions et résultats . . . . .	167
6.4.3	Questionnaire . . . . .	173
6.4.4	Les potentialités et les difficultés avec l'outil . . . . .	174
6.4.5	Le son pour la conception . . . . .	174
6.4.6	L'écoute en direct . . . . .	175
6.4.7	Distances et corps dans l'espace . . . . .	175
6.5	Carnets de Terrain - Option « design sonore et acoustique architecturale » 2018/2019 . . . . .	176
6.5.1	Présentation et déroulé de l'atelier . . . . .	176
6.5.2	Productions et résultats . . . . .	178
6.5.3	Questionnaire . . . . .	186
<b>7</b>	<b>Troisième corpus : Les expériences impliquées</b>	<b>191</b>
7.1	L'entretien Instrumenté . . . . .	191
7.2	Analyse de l'existant, pistes et comparaisons . . . . .	192
7.3	La balade sonore revisitée . . . . .	193
7.3.1	Expérience et retours . . . . .	195
7.4	Dans le cadre opérationnel / processus de concertation . . . . .	197
7.5	Installation multicanal : Immersion exploratoire . . . . .	200
<b>8</b>	<b>Retour sur les corpus, résultats et apports de l'outil</b>	<b>205</b>
8.1	Les acquis . . . . .	205
8.2	les limites de la recherche . . . . .	211
8.2.1	Les subtilités d'usage et de perception . . . . .	214

<b>Conclusion</b>	<b>215</b>
9.3 L'outil en application . . . . .	215
9.4 Concevoir de l'intérieur, quelles modalités pour penser le projet ? . . .	215
9.5 Un outil des échelles sensibles . . . . .	216
9.6 Le son, un médium à la mesure du temps . . . . .	218
9.7 La prospective sonore . . . . .	219
9.8 L'outil numérique en question . . . . .	220
9.8.1 La programmation pour la conception . . . . .	220
9.8.2 L'outil de conception assisté(e) . . . . .	222
Ouverture(s) . . . . .	223
<b>Bibliographie</b>	<b>227</b>
Références . . . . .	227
<b>Table des illustrations</b>	<b>236</b>
<b>Annexes</b>	<b>244</b>
A.1 Première annexe :	
Questionnaires . . . . .	244
A.1.1 École d'hiver 2017 . . . . .	244
A.1.2 Option design sonore 2017/2018 . . . . .	246
A.1.3 Option design sonore 2018/2019 . . . . .	248
A.2 Deuxième annexe :	
Outil : description et évolutions . . . . .	250
A.2.1 Composants et paramètres . . . . .	250
A.2.2 Tableaux des évolutions (Manipulations utilisateur, évolutions techniques, paramètres et retours logiciels) . . . . .	253
A.3 Troisième Annexe :	
Codes sources . . . . .	256
A.3.1 Plug-in Grasshopper . . . . .	256
A.3.2 Plug-in Max/MSP . . . . .	279
A.4 Quatrième annexe :	
Productions et lexique audio . . . . .	284
A.4.1 L'effet de réverbération . . . . .	284
A.4.2 L'effet de coupure . . . . .	285
A.4.3 L'effet de masquage - démasquage . . . . .	286

---

A.4.4	L'effet de filtrage . . . . .	287
A.4.5	L'effet de métabole . . . . .	288
A.4.6	L'effet de distance . . . . .	289
A.4.7	L'effet de présence . . . . .	290
A.4.8	Carnets de Terrain - École d'hiver 2017 . . . . .	291
A.4.9	Option « design sonore et acoustique architecturale » 2017/18	294
A.4.10	Option « design sonore et acoustique architecturale » 2018/19	296
A.4.11	La balade sonore revisitée . . . . .	299

# Avant propos

Ce travail de doctorat s'inscrit dans une dynamique qui prend naissance à la croisée de plusieurs centres d'intérêts personnels et professionnels et fait état d'un croisement que nous avons volontairement voulu hybride. Il s'agit à la fois d'hybrider des "approches disciplinaires" en faisant se rejoindre des méthodes et des "regards" provenant à la fois des sciences dites exactes et des sciences dites humaines ou sociales. Nous nous inscrivons ici dans la lignée du laboratoire CRESSON, fondé sur ces "retrouvailles" entre les sciences de l'ingénieur et la philosophie et sur un objet d'étude dès lors difficile à appréhender pour la discipline architecturale : le sonore.

Ce que nous allons développer fait suite à un projet de recherche nommé "Esquis'Sons ! Outils d'aide à la conception d'environnements sonores durables" et mené dans le cadre du Programme de recherche "APR Environnement sonore et urbanisme 2013" mené par l'ADEME<sup>1</sup> et supervisé par Nicolas Remy. Ce projet a eu pour but de formaliser une analyse croisée des espaces intermédiaires situés en façade de bâtiments (les "BLTC" pour balcons, loggias, terrasses et circulations) dans 6 quartiers durables en Europe (Allemagne, Espagne, France et Suède)<sup>2</sup>.

Cette étude de la forme physique, de l'environnement sonore et du ressenti des usagers dans ou sur ces dispositifs a permis de faire émerger des conditions minimales d'existence de situations sonores remarquables et ainsi de rédiger un répertoire à filtres croisés qui a pour objectif d'appuyer et de donner des pistes pour la conception à travers des exemples (qui comprennent descriptions et prises de son). À la suite de ce travail, nous avons développé une première version d'un outil d'esquisse sonore afin d'intégrer les principaux résultats de la phase de terrain dans une interface paramétrique et ainsi de sonoriser et de tester les conséquences de choix sur des dispositifs de façade.

L'imaginaire des potentiels d'un outil d'écoute pour la conception et la frustration de ne pas pouvoir aller plus loin à la fin de la recherche nous ont ainsi amenés à poursuivre le développement afin d'élargir le champ d'action de l'outil au-delà

---

1. Agence de l'Environnement de la Maîtrise de l'Énergie : Appel à Projets de Recherche (APR) lancé en 2013 par l'ADEME sur le thème « urbanisme durable et environnement sonore »

2. Coordination Scientifique : *Nicolas Remy et Grégoire Chelkoff* ; Responsables de terrains d'études : *Hengameh Amini, Noha Gamal, Jean-luc Bardyn et Théo Marchal* ; Développement de l'outil Esquis'Sons ! : *Théo Marchal*

des dispositifs de façades. Pour cela, nous avons décidé de mettre en œuvre - à travers un travail de doctorat qui proposerait de tester nos hypothèses et d'explorer l'outil - une méthode "exploratoire" de développement logiciel pour l'architecture qui hybride les apports techniques, sensibles, sociologiques et pratiques dans la lignée d'un développement de méthodes pour la discipline architecturale et la prise en compte des ambiances.

Afin de marquer la continuité et l'origine de l'outil, nous avons choisi de conserver le nom de la recherche initiale comme nom de l'outil que nous avons simplifié par *EsquisSons* pour plus de commodité technique et rédactionnelle.

## Remerciements

Merci à **Grégoire Chelkoff** pour son encadrement tout au long de ce travail d'abord, mais aussi pour les multiples réflexions et actions stimulantes que nous avons pu mener et qui sont autant d'inspirations et de fondements pour moi.

Merci à **Philippe Liveneau** pour son accompagnement depuis mes premières années d'architecture, pour nos riches échanges professionnels et personnels, et sans qui mon parcours ne serait pas celui-ci aujourd'hui.

Merci à **Julien Alexandre** pour les discussions fertiles que nous avons pu avoir ensemble.

Merci aux membres du **CRESSON** doctorants, chercheurs et personnels d'appui à la recherche pour la bienveillance des discussions, les temps d'échanges et les temps de convivialité qui ont rendu ce travail particulièrement agréable à mener.

Un merci particulier à **Françoise, juL** et **David** pour leur aide inconditionnelle, leur présence et leur soutien, et sans qui ce travail aurait été beaucoup plus difficile à mener

Merci à tous les personnels de l'**École d'Architecture de Grenoble**.

Merci à la **SNCF** et à ses trains dans lesquels beaucoup de ces lignes ont pu voir le jour.

Enfin, merci à Marie et à Gaspard qui ont eu la force de me soutenir pendant ce long périple.

# Introduction

La notion d'ambiance est pour le spécialiste de l'espace un réel matériau de travail puisqu'elle permet de définir ce qui le compose au-delà de la figure morphologique, sans pour autant nier l'interdépendance qu'ils ont l'un envers l'autre. En amont et au-delà de la conception, il faut préciser la préexistence de l'ambiance ; c'est-à-dire le fait qu'elle est déjà là, avant même le projet et qu'elle continuera d'exister et d'évoluer après. L'architecte est alors un transformateur d'ambiances par son travail de conception qui propose espaces, matérialités, usages ainsi que les agencements qui régissent ces derniers.

Cette focale spécifique sur la notion d'ambiance, pourtant forte d'une assise scientifique et pratique de plus de 40 ans trouve aujourd'hui des difficultés à résonner avec les nouvelles modalités de conceptions (Architecture non-standard, paramétrisme, design génératif, BIM), mais aussi avec les enjeux d'énergie et d'économie qui résument souvent la notion de confort à une somme de données quantitatives. Ainsi, malgré les corrélations et les coalescences connues entre ces dimensions du projet et la notion d'ambiance, peu de ponts existent aujourd'hui pour mobiliser dans le projet l'effet "formant" (physiquement et psychiquement) d'une morphologie sur les ambiances et sur les perceptions d'un espace vécu.

Dans le spectre du sensible, l'espace sonore est notamment un grand oublié de la conception architecturale qui raisonne quasiment exclusivement avec le visuel comme moyen de conception, représentation et restitution. Cette prégnance correspond également à un monde contemporain particulièrement acquis à cette omniprésence de l'image, que ce soit dans la communication, les médias, ou encore dans nos propres interactions qui ne peuvent se passer d'un retour visuel. Continuer à considérer l'espace sonore dans la conception nous semble alors être un enjeu important pour conserver un large éventail d'approche dans le processus de projet et dans la prospective de futurs espaces à vivres.

Proposer d'interroger l'espace dans le son et le son dans l'espace pour l'architecture, c'est avant tout pour nous mettre en avant les enjeux d'une posture d' "écoute" du monde comme méthode prospective pour penser et éprouver les environnements et les espaces. Cela est d'autant plus important alors que ces méthodes pourraient être de bonnes prises pour répondre à la place des ambiances dans la conception aujourd'hui par le potentiel de cadrage que le son implique, et à l'heure où l'on

interroge de plus en plus le rapport de l'homme à son environnement.

Cette « posture » s'inscrit dans la lignée des travaux menés au laboratoire AAU et dans l'équipe CRESSON, qui depuis sa création aborde la notion de « son » comme un moteur pour interroger, penser et projeter l'espace. Plus largement, l'approche spécifique du son dans l'espace a pu se construire depuis plus de cinquante ans en s'appliquant à relever, noter, et analyser les variations sensibles des espaces sonores en articulations avec les usages, les morphologies, les matérialités ou encore les contextes<sup>3</sup>.

Ainsi, beaucoup de choses ont pu être pensées, développées et écrites autour de l'architecture de l'espace et de la perception sonore pendant les décennies précédentes, et ce n'est pas l'objet de notre travail que de tenter d'en écrire davantage, voire de théoriser un nouveau pan de réflexion sur les ambiances. Le travail que nous avons mené vise au contraire à les tester et à les mettre en pratique, à l'épreuve du projet et de la conception spatiale pour éprouver certaines de ces notions, et voir ce qu'elles font naître comme opportunités ou comme questions : *qu'est ce que cela apporte ?* Ou au contraire, *pourquoi ça ne fonctionne pas ?* Il s'agit de cette façon de continuer à proposer des réflexions sur la question des ambiances et plus spécifiquement du sonore, mais par la production et l'expérimentation de la conception "à partir" de ces questions.

À la manière d'un protocole expérimental, nous proposons de développer et de tester un outil qui permet de mobiliser certaines notions, d'en reformuler, voire d'en construire des nouvelles par la "mise à l'épreuve" dans le cadre du processus de conception. La ressource des outils numériques, particulièrement accessibles aujourd'hui pour un architecte, et surtout riches de potentiels du fait d'ordinateurs et de logiciels de plus en plus accessibles et de plus en plus performants, nous offre une nouvelle opportunité pour réaliser un travail d'exploration des espaces sonores à l'intérieur même du processus de projet.

Il s'agit donc de porter un regard sur le rapport qui existe entre son et espace en recherchant les liens entre les effets physiques et les coalescences qui se construisent autour du phénomène que l'on est en train d'entendre (Amphoux, 2017) par le moyen d'un outil numérique permettant de mobiliser ces enjeux dans le projet. Face au son à voir (que l'on retrouve particulièrement dans la notion de paysage sonore) c'est le son à vivre qui permet de saisir les phénomènes et les circonstances spatio-temporelles du physique à l'imaginaire<sup>4</sup>. Ainsi, en appréhendant ce que l'on est en train d'entendre comme une manière de révéler des existences ou des coexistences

---

3. Nous faisons référence ici à toute la sédimentation autour du sonore qui s'opère depuis plus de cinquante ans : en partant des objets sonores (Schaeffer & de la recherche, 1966), des paysages sonores (Schafer & Gleize, 1979), des effets sonores (Augoyard, 1987) pour aller jusqu'au sound studies aujourd'hui (Sterne, 2012) qui cherchent à remettre en perspective, par le sonore, des enjeux plus globaux liés pour ce qui nous occupe aux problématiques spatiales, architecturales et urbaines

4. Voir la notion d'«effet sonore» développée par Jean François Augoyard et sur laquelle nous reviendrons plus tard dans ce document (Augoyard & Torgue, 1995)

---

de notre environnement, on fait émerger une posture - celle de l'écoute - que l'on va pouvoir tester "en acte" dans le projet, par l'observation des utilisations de l'outil.

En effet, on se base pour cela sur ce que l'on considère comme un statut particulier du sonore et plus spécifiquement des modalités de perception qu'il génère : Nous proposons, à travers l'utilisation d'*EsquisSons*, d'interroger l'écoute comme un moyen pour appréhender et pour penser les environnements habités et vécus. Nous faisons alors ici une hypothèse "générale" selon laquelle **le son pourrait être un vecteur plus large des enjeux d'ambiances dans la conception spatiale** de par sa capacité à provoquer une posture qui changerait la ou les approches que l'on peut avoir au cours du processus de projet.

Au regard de cette hypothèse, notre interrogation est la suivante : *Comment faire apparaître dans la conception cette posture d'écoute ; et dans quelle mesure elle peut-être un potentiel pour révéler ces interactions du corps percevant avec son environnement ?*

Pour répondre à cette question, l'outil que l'on a décidé de développer à destination des concepteurs spatiaux propose d'aider à la prise en compte du son par le moyen de l'écoute. Ce dernier permet ainsi d'interroger la conception par et avec les sons, mais également d'être, de fait, une aide réelle et concrète pour penser l'espace à partir des sons. Pour cela on souhaite qu'il soit pertinent à la fois sur le plan sonore (qu'il permette une évaluation cohérente), mais également qu'il soit capable de s'articuler avec les méthodologies actuelles de dessin et de modélisation en exploitant le potentiel d'interactivité audiovisuelle et la puissance de calcul offerte par les outils numériques contemporains.

Ainsi, s'ouvre en parallèle de notre première question une nouvelle hypothèse sur **le potentiel des outils numériques pour la pensée des ambiances dans le projet d'architecture**. Nous nous efforcerons pour cela de présenter le parcours associé au développement de l'outil et les notions théoriques et pratiques que cela mobilise. Cette démonstration de principe orchestrée autour d'un outil ciblé sur le son dans l'espace nous permettra d'illustrer et de tester des questions fondamentales tout au long du cycle de développement et d'expérimentation et ainsi de dégager les premiers indices permettant de comprendre comment un outil peut articuler différents enjeux de conception aux ambiances.

Tout en vérifiant notre première hypothèse générale sur le son "vecteur d'une pensée des ambiances", il s'agira de regarder les résultats obtenus sur le plan sonore afin de comprendre comment la mobilisation de nouveaux outils numériques peut-être efficace tant sur le plan technique que théorique pour un renouvellement de la « conception ambientale » dans le projet d'architecture. En effet, au-delà des désormais connus retours quantitatifs que peuvent produire des outils d'analyse, nous pouvons envisager ici un retour perçu et évalué directement par l'utilisateur. Nous supposons un apport nouveau pour la conception avec le décadre qu'implique le changement de médium et la posture d'écoute, mais aussi en ce qu'il rend implicite

un certain nombre de phases de méthode tel que l'étude *in situ*. Enfin, nous pouvons également ajouter les potentiels déjà bien identifiés de ces outils qui permettent -en travaillant sur une base de paramètres- l'exécution d'itérations à travers un continuum allant de l'esquisse au prototypage<sup>5</sup>.

Le choix du sonore, guidé par notre première hypothèse, s'est également construit en regardant le paysage des outils numériques de conception "du sensible" à la disposition de l'architecte. Quand nous avons pu commencer ce travail, aucun outil n'existait pour penser le son dans l'espace dès les premières phases de conception et en articulation directe avec les outils itératifs et paramétriques de projet<sup>6</sup>. C'est donc cet objectif qui nous a guidé tout au long de notre travail de doctorat, afin qu'au-delà des questions de recherches qui l'ont engendré, l'outil puisse être un vrai résultat opérationnel pour l'architecte, l'urbaniste, le designer ou même au-delà<sup>7</sup>.

Cet outil de conception architecturale qui mobilise le son comme un matériau de projet dès les toutes premières phases de conception se présentera comme une exploration des possibles et restera en perpétuelle évolution. Ainsi nous continuerons de le modifier en lien avec les différentes observations que nous allons faire sur le terrain. Pour cela, nous proposons de baser notre travail sur une méthode itérative durant laquelle l'outil incarne à la fois le rôle de corpus (*puisque'il sert de base à la réflexion et aux interrogations associées à nos hypothèses*) mais aussi celui d'objet d'étude (*puisque'il sera lui-même observé et interrogé en tant qu'outil numérique de conception des ambiances*); et enfin celui de résultat (*puisque'en perpétuelle évolution, il sera un aboutissement de ce travail et, on le souhaite, un réel outil à disposition du concepteur*).

L'objectif sera alors d'apporter un nouveau "moyen" pour l'architecte de manipuler - à travers une des modalités sensibles de ce qu'il conçoit - les différentes conditions de possibilités d'ambiances qui se fabriquent dans le projet. En complément, et comme résonance à ce que nous présentions en introduction, l'outil pourrait être une manière de favoriser la prise en compte des environnements sonores et ainsi de permettre de les faire basculer d'un élément souvent "impensé" vers un véritable matériau de projet.

Ce travail de doctorat en architecture implique également d'être à l'articulation entre plusieurs disciplines et "focales" scientifiques comme les sciences et techniques, les sciences humaines et sociales, l'histoire ou encore les sciences informatiques. Cette multi-dimension introduit une complexité importante dans la construction et le dé-

---

5. Voir le continuum théorisé par Bernard Cache ("Objectile") et la thèse de Florence Plihon (Plihon, 2016). On note par ailleurs que cette spécificité de rendre possible une modélisation adaptée aux processus de fabrication ne date pas d'hier puisque Pierre Bézier et/ou Paul de Casteljaou ont précisément travaillé au début des années 60 sur la modélisation de courbes et surfaces permettant de les faire usiner par les premières machines à commande numérique dans l'industrie automobile

6. C'est toujours le cas aujourd'hui à notre connaissance

7. Voir par exemple l'expérimentation d'installation en multicanal dans le chapitre 7.5, page 200, qui hybride sensibilisation à l'espace sonore par l'esquisse, et installation "créative"

veloppement d'un travail de recherche qui doit pouvoir intégrer à sa réflexion ces multiples dimensions sans pour autant être en capacité de les embrasser dans leur totalité. De plus, par la spécificité du développement d'un outil numérique, nous élargissons encore ces dimensions par la connaissance de plusieurs méthodes et langages de programmation mais aussi des principales règles et outils de calcul acoustiques que nous choisissons de mobiliser. À cela s'ajoutent les procédés d'étude des utilisations et des pratiques de conception avec l'outil qui sont inspirés des sciences sociales et des pratiques et processus du projet d'architecture, et qui nous permettent de récolter un matériau supplémentaire depuis les terrains d'expérimentations.

Pour cela notre travail s'inscrit dans une recherche que nous avons voulu qualifier d' "exploratoire" en ce qu'elle explore les prérequis et les possibles à la construction d'un outil pour l'architecte et pour la recherche en architecture. En effet le travail de recherche qui implique une structuration des idées par la problématique, les hypothèses, l'objet d'étude et les méthodes, nécessite en parallèle d'accepter une certaine part d'inconnu et d'exploration pour tester, "trouver" ou ne rien "trouver". Cette exploration nous semble être d'autant plus présente en recherche architecturale du fait du croisement et des emprunts aux différentes sciences précédemment citées, mais aussi par la (les) radicalité(s) que l'architecte doit fabriquer au croisement de ces mondes et qui constitue(nt) la spécificité de la discipline.

L'exercice a alors été pour nous comme une déambulation guidée par le fil conducteur (temporel et intellectuel) qu'était le développement de l'outil. Elle a ainsi construit notre travail au fur et à mesure et nous a permis une relative liberté d'exploration dans les méthodes et les questionnements. Ceux-là - et certaines "réponses" qui y sont associées - ont ensuite pu prendre forme et se structurer par l'accumulation des temps de conception et de productions avec l'outil.



# Chapitre 1

## Espace Sonore et Perception Ambiantale

### 1.1 Le son dans l'espace

Comme nous l'avons dit, les enjeux du sonore pour et dans l'espace sont appréhendés et précisés depuis plusieurs décennies. Nous ne proposons pas ici d'énoncer une nouvelle approche ou notion qui s'ajouterait aux autres, mais bien d'employer ces ressources existantes au profit du projet d'architecture et de la conception spatiale plus largement. Il s'agit donc dans cette partie de sédimer les regards et productions autour d'une pensée du son dans l'espace pour tirer des perspectives sur ses possibles articulations avec la conception et les potentialités que nous y voyons pour la conception ambiantale en architecture.

#### 1.1.1 Son, bruit et dérivés

Le "son" existe sous différentes appellations qui correspondent à des formes d'usage, d'écoute et de perception de ces derniers : la musique, les bruits, le paysage (sonore), l'environnement (sonore), la mélodie, l'objet. Tous ces termes correspondent à une manière de tendre l'oreille, à une « posture d'écoute » (Torgue, 2014) face aux sons qui sculpte déjà notre perception. Chercher à appréhender un bruit ou un paysage, même si l'on entend la même chose, ne nous dirigera pas vers la même écoute. Ces catégories introduisent dès lors un biais qui consiste à caractériser un son par la manière de l'écouter. Ce postulat de départ est très important pour nous puisqu'il introduit une approche du son par l'écoute. En effet, le son n'est plus ici un unique '*événement*' physique dont nous aurions connaissance par notre capacité à entendre, mais bien un '*élément*' construit par l'articulation de l'*événement*' acoustique et de l'écoute. L'écoute en ce sens réunit « les différentes natures du sonore » que nous avons esquissées plus tôt et permet de penser les sons dans l'espace indépendamment

d'une caractéristique préjugée qui ne correspondrait qu'à un « point d'écoute » (en analogie au « point de vue »). On peut ici citer des exemples bien connus d'un même son perçu de manières totalement opposées : la scène de liesse qui va exalter le supporter et irriter le riverain, ou encore le son d'un moteur puissant synonyme de plaisir pour son propriétaire, mais de danger pour le passant. Ces exemples simples suffisent à comprendre qu'un point de vue ou d'écoute ne suffit pas pour qualifier un son. Mais alors, si ce n'est pas à travers notre appréciation qu'il faut qualifier un son, comment le caractériser ?

### 1.1.2 Qu'est-ce que le son ? Une introduction à l'espace sonore

Nous répondrons à cette question en l'articulant immédiatement avec l'espace, car c'est au travers du prisme spatial que le son et les différents "événements" sonores vont "exister", ou plutôt coexister. Physiquement d'abord, le son se déplace dans un milieu, et en tant que phénomène physique, dans la matière qui entre en vibration<sup>1</sup>. Cette condition d'existence le relie nécessairement à un milieu matériel et plus particulièrement à ce qui nous occupe ici au-delà des caractéristiques physiques, à un espace. Cette dimension spatiale, bien plus qu'un simple vecteur matériel qui sert à décrire le phénomène physique, devient alors un élément clef de la relation entre le phénomène physique et le corps percevant. En effet, en se propageant dans un milieu, le phénomène sonore va se moduler, se transformer pour ainsi construire des informations de différentes natures que l'écoute va être en mesure de "capter" et de s'approprier.

C'est cette nécessité de coexistence entre le son et l'espace qui nous intéresse ici puisqu'elle fait sens dans notre représentation de l'espace, déterminée par le vécu et les expériences sensibles. Pour Bergson, l'espace "conceptualisé" comme une étendue homogène quantitative n'est qu'une vue de l'esprit résultant de nos perceptions qualitatives ; il ne peut en effet pas être question d'un espace (comme l'a décrit Kant<sup>2</sup>) ayant une existence indépendante de son contenu. Autrement dit, d'un espace qui *"résulterait [...] de la synthèse des sensations et aurait une existence indépendante par rapport à la sensibilité"* (Truchot, 2006). Comme le synthétise ici Truchot, pour Bergson il s'agit de préciser la distinction entre l'espace appréhendé, "étendue perceptible" résultant directement de notre perception de l'environnement ; et l'espace abstrait, "représentation construite par notre intelligence".

---

1. Le son est une vibration de la matière, il est donc dépendant d'un environnement matériel pour se propager

2. « *L'espace est une représentation nécessaire, a priori, qui sert de fondement à toutes les intuitions extérieures. [...] Il est donc considéré comme la condition de la possibilité des phénomènes, et non pas comme une détermination qui en dépende. Il est une représentation a priori servant nécessairement de fondement aux phénomènes extérieurs* » (Kant, Barni, Archambault, & Rousset, 1999)

Mobiliser cette conceptualisation particulière de l'espace comme représentation résultant de nos perceptions permet notamment de reconsidérer notre rapport sensible à l'espace et plus spécifiquement de ramener sur un pied d'égalité les différents modes de perceptions. Ainsi, selon cette définition de l'espace, les perceptions visuelles ne constituent plus la lecture "objective" d'un espace quantitatif préexistant, mais plutôt l'une des couches de lecture sensible nous permettant de nous représenter l'espace.

*« Les caractères tectoniques intéressent surtout l'ordonnance architecturale de l'ensemble ainsi que la distribution individuelle des différentes parties, et de ce fait ils sollicitent plutôt notre intelligence discursive; les caractères plastiques, en revanche, concernent essentiellement la valeur sensible et qualitative des phénomènes tels qu'ils se manifestent concrètement, et par conséquent ils s'adressent de façon préférentielle à tout ce qui, en nous, relève de l'intuition ou de la sensorialité. » (Bayer, 1987)*

Bien que peu développée dans nos expériences quotidiennes de l'espace conçu, la coexistence espace son est depuis longtemps un champ de recherche en architecture et en musicologie qui a permis de rendre de plus en plus perméable la discipline à une considération de ces phénomènes comme matériau de travail. Néanmoins, on a encore aujourd'hui beaucoup de difficultés à mobiliser et à manipuler ce matériau dans le projet d'architecture. Là où d'autres enjeux sensibles comme les perceptions tactiles et thermiques ou encore olfactives et respiratoires ont su ces dernières années devenir des phénomènes majeurs de nos espaces de vie qu'ils soient pour y habiter ou y travailler; le son au-delà des questionnements relatifs à la gêne n'est toujours pas parvenu à exister comme un réel enjeu de construction.

### 1.1.3 Origines, mathématiques, musique et acoustique architecturale

Nous souhaitons ici préciser une différenciation fondamentale qui a son rôle dans notre représentation du son pour l'architecture puisqu'elle contribue à le qualifier soit comme un "outil" alliant composition et trame, soit comme une muse proposant l'inspiration pour la conception. Cette "opposition" existe depuis la musique antique entre le son considéré de manière contemplative et émotionnelle que porte Homère et le son mathématique et divisé que propose Apollon.

*« Comme celle de tous les peuples anciens ou primitifs, l'histoire de la musique grecque commence par des légendes. [...] L'étude comparée de ces légendes laisse assez bien deviner le conflit de deux couches de civilisations, s'exprimant chacune par une musique propre et des instruments caractéristiques. L'une, séden-*

*taire et agricole, engendre des mythes chthoniens [...]. Elle s'exprime par des percussions et des instruments à vent, dont l'aulos deviendra le chef incontesté. Autour de Déméter et Perséphone s'édifient les mystères [...] où la musique tient un rôle fondamental. Autour de Dionysos s'organisent des processions carnavalesques où l'on chante, boit et danse [...]. Sur ces peuples sédentaires déferle, périodiquement, la masse tantôt pacifique et tantôt belliqueuse d'une autre civilisation, pastorale et nomade, qui possède elle aussi ses dieux, ses mythes et ses coutumes. Ses instruments préférés ne sont plus l'aulos à anche végétale, mais la lyre ou la cithare aux cordes de boyau animal. À Hermès et à Pluton, ils opposent Apollon [...] le combat cruel de ce dernier avec le satyre Marsyas, joueur d'aulos, symbolise la lutte des deux conceptions » (Universalis, 2015)*

Cette opposition entre Apollon et Dionysos sur la question des arts que Nietzsche résume à une opposition du plastique et du non-plastique (Nietzsche, 1989) peut-être ramenée à une opposition, ou plutôt une dualité des approches sonores dans le projet d'espace. En effet on constate un franc découpage entre les démarches quantitatives, analytiques, et renvoyant bien souvent à la vue comme outil d'analyse de l'espace sonore ; et les démarches inverses, proposant de mobiliser le son comme une "inspiration" : élément de contexte justifiant une prise de position ; ou comme une "pièce", qui comme son nom l'indique existe et se présente comme un élément -détaché ou rapporté- du projet.

Face à cette opposition, nous proposons ici d'associer ces deux postures historiquement opposées notamment en re-mobilisant ce que Grégoire Chelkoff appelle « accorder l'attention à la dimension vécue et retrouver ce qui en fait les caractéristiques » (Chelkoff, Thibaud, Bardyn, & Leroux, 1988). Pour ce faire il propose de préciser les méthodes d'approche et d'analyse afin de cibler plus clairement l'objet travaillé ; ceci notamment afin d'éviter une "*rationalisation du sensible*", et pour au contraire, mieux le saisir dans sa profondeur. La méthodologie appliquée dans ce travail se base sur trois éléments structurants : des observations individuelles effectuées par différents enquêteurs, des mesures acoustiques permettant de récolter un certain nombre de données sonores, et enfin une série d'entretiens semi-directifs enregistrés ; ceci pour chaque terrain abordé. Cette méthodologie permet de croiser différentes données afin de "relever" l'environnement perçu, mais aussi l'environnement vécu et les paradoxes qui en découlent. L'intérêt de cette approche, c'est qu'elle propose de coupler les données quantitatives traditionnelles de mesure sonore avec un travail de terrain plus subjectif permettant d'analyser l'«espace» ou l'étendue Bergsonienne comme nous l'avons présenté plus tôt. C'est-à-dire par et pour ses critères sensibles et cela dans les différentes dimensions : vécues, mesurées et projetées. L'objectif étant de proposer une qualification des lieux selon leur espace sonore ; et

cela notamment pour améliorer sa préhension chez les concepteurs. Il permet ainsi de sortir des catégorisations sonores habituelles qui bien souvent se mure dans le champ lexical de la lutte ou de la gêne.

La méthode qui consiste ensuite à faire écouter aux habitants des séquences sonores enregistrées sur les lieux permet de remettre au cœur du travail la perception. En effet, il est fait état de spatialisation à partir des espaces sonores perçus. « *Les auditeurs cherchant à situer les fragments tentent ainsi de donner forme à l'espace dans lequel résonnent les sons entendus* ». Cette représentation spatiale du sonore est très importante, car elle argumente, par le souvenir et le discours autour du son, l'interaction "intime" entre espace et son ; et confirme ce que nous avons amené précédemment, c'est-à-dire la dimension constituante du sonore pour l'espace perçu et donc vécu.

Nous savons que les réflexions et les réalisations s'intéressant au son dans l'espace remontent à l'antiquité et sont notamment particulièrement développées pour les espaces de spectacles où l'acoustique des salles occupe une place centrale dans la conception. Si l'on retrouve des traces de théories musicales, mais aussi de théories acoustiques pour la facture d'instruments très tôt dans l'histoire de l'humanité (la plus ancienne théorie musicale attestée est datée aux alentours de 1500 av. J.-C. (Schaeffer-Forrer, Chandler, Laperrousaz, Duchesne-Guillemain, & Parrot, 1964), il y est également question de cordes d'instruments), il est plus difficile de dater les premières réalisations d'espaces pensés et projetés à destination des sons. C'est en Grèce antique, et plus particulièrement à partir du VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C. et l'arrivée de la géométrie que les espaces d'écoute de la musique commencent à être réfléchis :

« *On utilisa d'abord comme espace d'audition les pentes naturelles de collines aménagées en escaliers à larges marches, qui, se réunissant en gradins circulaires, conduisirent aux formations géométriques bien connues et efficaces des théâtres antiques, grecs et romains. [...] L'expérience de plusieurs siècles permit des réalisations extraordinaires où l'acoustique, au sens de la qualité de l'audition était parfaite en tous points pour un public de plusieurs milliers de spectateurs* » (Liénard, 2001)

C'est en effet, par expérience et par essais/erreurs empiriques que les réalisations de l'antiquité ont pu atteindre un tel "niveau" de précision acoustique dans la propagation des sons<sup>3</sup>

L'acoustique architecturale qui étudie la propagation des sons dans l'espace est une science relativement "jeune" en comparaison des autres sciences fondamentales et le premier à l'avoir « théorisée » c'est Wallace Clement Sabine au tout début du XX<sup>e</sup> siècle. Il a notamment inventé la notion de « temps de réverbération » qu'il

---

3. Voir notamment la célèbre acoustique du théâtre d'Epidaure restée difficile à expliquer jusqu'en 2007 (Declercq & Dekeyser, 2007)

appelait le temps d'extinction d'un son. Il a ainsi prouvé qu'il existait une relation entre ce temps, le volume de l'espace et l'aire des surfaces absorbantes présentes.

Il s'agit là d'un bon exemple pour expliquer la différence de posture que nous avons par rapport à cette approche qui cherche à rationaliser des phénomènes perçus par des phénomènes physiques, à la fois pour les comprendre et pour les expliquer. En effet, on pense ici que ces derniers ne peuvent pas toujours se résumer à des règles physiques et l'un des points importants des travaux du CRESSON consiste justement à essayer de comprendre comment l'environnement sensible peut-être sujet à différents agencements, spatiaux, sociaux et subjectifs. C'est précisément cette spécificité (orienté par et à travers le sonore) que nous cherchons à rendre disponible ou tangible au concepteur spatial. (Schon, 1984)

### 1.1.4 La place du son dans la conception

En effet, malgré d'énormes avancées autant dans les champs techniques que psychocognitifs sur la compréhension du son, on constate encore aujourd'hui une très faible implication des questions sonores dans les projets d'architecture et d'urbanisme contemporains. Cette "absence" d'une approche prospective du sonore dans le champ des pratiques architecturales et urbaines peut être datée aux derniers travaux futuristes des années 60 qui s'emparaient à l'époque de dispositifs techniques pour mener à bien ces expériences radicales qui cherchaient à tester et réfléchir des environnements plus que des morphologies (Daro, 2013). Le son est ensuite devenu avec l'arrivée "fédératrice" de la notion de paysage sonore un médium de travail moins mobilisé, mais surtout plus timide et moins projectif dans les travaux sur l'espace :

*« Vidées de toute exaltation technologique et projection futuriste, les propositions d'intervention du "paysage sonore", rarement réalisées, ne visèrent plus la création d'ambiances artificielles comme dans les projets des années 1960. Imprégnés de la sensibilité écologique croissante, elles visèrent plutôt à s'intégrer dans la ville et dans l'environnement existant, sous une forme beaucoup plus timide et tâtonnante » (Daro, 2013)*

Aujourd'hui, cette "absence" des enjeux sonores dans une majorité écrasante des projets d'architecture est sûrement explicable par son caractère "non préhensile" et "volatile" dans l'espace. En effet, contrairement à la lumière ou à l'air, le son se canalise ou se dirige avec beaucoup plus de difficultés. Il se déplace à travers la matière et dans toutes les directions. Néanmoins, il existe des règles et des modèles acoustiques qui permettent de travailler avec le son ; mais ceux-ci sont parfois très éloignés des représentations intuitives -calquées sur notre routine visuelle- que nous avons l'habitude de manipuler. Au-delà de cette complexité technique, il faut aussi faire état de la complexité empirique qui occupe une grande responsabilité dans son

"non-usage" architectural. S'il est facile d'admettre que l'espace peut moduler le son, on aura plus de mal à se faire à l'idée de l'inverse et à accepter la dimension non contrôlable que cela implique. En effet, le son peut à son tour moduler l'espace dans son vécu et c'est pour le concepteur parfois le risque d'une certaine perte de contrôle ; comme mettre le doigt dans un engrenage qui semble difficile a arrêté, car souvent mal compris.

Nous constatons également la difficulté de transformation que cela implique : penser le sonore -et donc le sensible- entraîne un déplacement des focalisations et des spécialisations à une attention plus subjective et quotidienne de l'espace (Augoyard, 1979). L'aménageur doit ainsi transformer son rôle d'expert dont le geste artistique serait le seul "traducteur du sensible" pour passer d'un aménagement à "ménagement" des espaces (Geisler & Manola, 2015), ce qui peut, là encore représenter une limite consciente ou inconsciente à la prise en compte de ces phénomènes.

### **Les outils pour penser le sonore**

Nous remarquons parmi ces freins l'absence d'outils pour penser le sonore dans le projet. Ces outils de prise en compte du son dans le projet d'architecture sont aujourd'hui pour la plupart des méthodes d'analyse ou de répertoires de situation permettant de mieux appréhender la complexité du phénomène dans l'espace construit et hypothétiquement de pouvoir utiliser ou mobiliser certains des archétypes présentés pour faire projet. Cet angle a pour avantage de faciliter l'entrée dans un univers complexe en s'attachant à rendre plus lisible la complexité empirique dont nous avons parlé plus tôt, néanmoins, en définissant des catégories ou des objets associés à des phénomènes, il favorise une approche par "modèles" ou par "prototypes" difficilement exploitables en contexte de projet. À l'inverse, certains outils appliqués à destination de l'étude des édifices et de l'ingénierie ont une visée opérationnelle rationnelle et donc applicable au projet. Néanmoins ces derniers, orientés vers l'acoustique appliquée, nécessitent des connaissances importantes dans le domaine pour pouvoir les manipuler et font surtout l'impasse sur la complexité empirique dont nous avons parlé, et donc sur un pan complet des enjeux qui doivent occuper l'architecte désireux de concevoir avec les sons.

C'est notamment par cette absence et pour ces raisons que nous faisons l'hypothèse ici d'une mise à disposition d'un outil pour concevoir avec les sons, il serait alors une aide majeure à leur prise en compte dans le projet. Nous nous appuyons notamment sur l'exemple de l'outil "Ladybug tools"<sup>4</sup> et d'autres que nous développerons ci-après et qui permettent aujourd'hui aux architectes, grâce à un principe de "boîte à outils", d'intégrer des enjeux sensibles complexes et multiples à leur processus de conception.

---

4. Ladybug tools est une suite d'outils aidant à la prise en compte des phénomènes environnementaux dans le projet - voir détails dans la section "les outils extensions" 3.3.1, page 84,

## 1.2 Pourquoi le son ? Un potentiel pour la conception ambiante

### 1.2.1 Le sonore et les autres modalités sensibles

Choisir de considérer la perception sonore comme "entrée" pour la conception de l'espace permet de provoquer un certain recul sur certaines modalités sensibles souvent dominantes. On pense ici notamment aux préconçus visuels qui dominent la représentation spatiale. Ces derniers sont particulièrement présents en architecture où le visuel incarne le principal médium de communication et de conception. En effet, on représente d'abord l'espace à travers la manière dont on le verra avant de s'interroger aux autres sens. Bien que le visuel puisse autoriser la représentation d'autres modalités sensibles<sup>5</sup>, on ne voit que rarement ces dernières intervenir directement comme un outil de conception et de représentation du projet d'architecture. Pour autant, l'espace se constitue d'un entrelacs beaucoup plus complexe que son simple aspect visuel. En effet, l'espace se traverse, se parcourt, et s'expérimente avant tout avec le corps qui mobilise l'ensemble des sens dans l'expérience spatiale. Le son occupe une place particulière dans cette expérience, d'abord par sa matérialité "impalpable", mais aussi par sa dimension "invisible" à l'œil qui le détache complètement du sens visuel. Pour cela, il apparaît pour nous comme un élément précieux pour comprendre la perception en cela qu'il permet de s'abstraire d'une certaine "pré-construction" subjective de l'espace perçu particulièrement teinté par le visuel. Il nous permettrait ainsi d'aborder l'espace sensible à travers un axe nouveau et de faire un pas de côté par rapport à ce que l'on dessine.

Enfin, en opposition à un médium visuel qui transmet une information "directe" et finie, le sonore permet d'invoquer des notions « imaginaires » et non figuratives (on pense par exemple aux notions d'infini et de minuscule dans la perception des distances et des échelles (Marchal, 2013)) qui font partie de nos « représentations perceptives ». Ainsi, le « vécu sonore » devient une composante particulière par sa capacité à convoquer tout un pan de l'espace habité qui se manifeste au-delà de ses caractères objectifs. Comme l'explique Jean François Augoyard, le simple fait de prendre le contrepied des méthodes prédominantes incarnées par le visuel permet de le remettre en question :

*« L'approche des pratiques habitantes à partir du vécu sonore [...] implique immédiatement une critique des concepts à connotation visuelle qui prédomine dans tout discours rationnel, qui ac-*

---

5. Voir le travail de coupes temporelles de Noha Gamal Saïd (Said, 2014), la méthode du transect urbain (Tixier, 2016), les représentations thermiques, lumineuses, aérauliques de Philippe Rahm (Rahm, 2015), ou encore le rapport au corps dans l'espace dans les coupes architecturales (Claude Parent et Paul Viriolio ont fait figure de pionniers sur la question avec la théorie de la fonction oblique)

*compagne la production de l'espace, et , très souvent , structure les analyses de l'espace urbain » (Augoyard & Liochon, 1978)*

Ainsi, il n'est pas question ici de déclarer le son et l'espace sonore comme un espace perçu indépendant et individuel, mais plutôt comme une facette du prisme de la perception que nous pouvons explorer et exploiter comme une ressource pour l'analyse et la prospective architecturale et urbaine.

## 1.2.2 Milieux et ambiances en architecture

Si nous regardons maintenant les différentes productions en architecture qui s'attachent à considérer le son comme un matériau de projet, on observe deux catégories.

La première catégorie concerne tous les édifices "exceptionnels", dédiés à l'accueil d'une pratique sonore particulière comme les salles de spectacles, les lieux de cultes, ou encore les bâtiments "sonnants" qui vont produire ou moduler des sons de manière "événementielle". Cette catégorie d'architectures extra-ordinaires s'attache à travailler le son en dehors de sa place quotidienne, englobante et constitutive des milieux que l'on traverse. Pour cela, il apparaît difficile d'appliquer les propositions qui y sont faites à des espaces habités ordinaires que ce soit pour des raisons évidentes de budget, mais aussi de confort et de modulation sensible.

La deuxième catégorie regroupe les traitements acoustiques que l'on a nommés "techniques" et qui s'appliquent à corriger des effets mesurables pour améliorer le confort des espaces "à problèmes". Même si l'on retrouve ici plus d'espaces du quotidien (un réfectoire, un hall d'accueil, une salle de classe, un espace de circulation, etc.); ces propositions sont toutes appliquées pour rejoindre des niveaux (que l'on parle d'isolement ou de correction) déterminés par la mesure de certains critères (mais aussi le plus souvent par des normes). Ces traitements posent la question d'une interrelation entre ces indicateurs mesurables, mais aussi d'une partie non-mesurable de la perception et des interactions sensorielles qui s'opèrent dans l'espace. De plus il s'agit souvent de réalisations à destination d'espaces partagés fermés, et très rarement d'une focalisation sur l'habitat ou l'espace public.

Ces deux catégories, qui reposent le plus souvent sur des matériaux quantitatifs, ne sont ainsi que rarement des vecteurs d'ambiances dans la vie quotidienne puisqu'elles n'intègrent pas le son comme un élément permanent de l'environnement au même titre qu'on pourrait le faire avec le visuel. On retrouve cette difficulté avec les enjeux thermiques qui sont aujourd'hui monopolisés par les injonctions normatives et quantitatives là où ils pourraient être, tout comme le son, travaillés comme des qualités et des marqueurs pour forger des conditions de possibilités aux ambiances<sup>6</sup>

---

6. Voir la "composition thermique" de Philippe Rahm pour le "Jade Eco Park" à Taiwan (Rahm, 2017)

### 1.3 Vers un outil d'esquisse sonore

Notre proposition large serait alors d'intégrer l'écoute comme un élément manipulable et tangible dans les outils de conception afin de permettre son utilisation et sa prise en compte. Ainsi par l'expérience de l'écoute, on ambitionne de faire se réunir des enjeux de conception associés aux morphologies, aux usages, à l'acoustique et aux vécus des espaces :

*« L'expérimentation [sonore] est un moyen de faire rejoindre les savoirs acoustiques experts avec l'architecture en train de se faire et la perception profane d'auditeurs qui réclament à juste titre d'avoir prise sur ses ambiances de vie » (Regnault & Hugonnet, 2016)*

La notion d'écoute étant un paramètre particulier puisqu'emprunt des connotations subjectives et fait des coalescences "spatio-sensibles", nous avons cherché pour nous en rapprocher à ne pas tendre vers un outil de simulation précis. Au contraire, il fallait, pour faire émerger l'écoute de l'utilisateur, favoriser les liens à la fois étroits, mais aussi peu évidents entre espace, matérialité, usages et son. Pour arriver à cela (un outil de prise en compte des ambiances plus qu'un moteur de simulation acoustique), nous avons fait le choix de l'esquisse qui permet à la fois d'élaborer les intentions de projet, de les jeter sur le papier (ou ici dans le casque), mais aussi de ne pas déterminer certains détails laissés sous la forme d'un trait flou, voire d'un vide, de manière à s'en tenir à l'essence du projet. Ainsi sur le plan sonore, on offre la possibilité d'une auralisation, même "floue" à partir de très peu de paramètres de base qui ne nécessitent pas d'être déterminés tout de suite. L'esquisse nous permet également, de "revenir", repasser sur un trait, le dévier légèrement de sa trajectoire ou au contraire l'accentuer, repasser pour changer une direction, etc. Avec *EsquisSons*, le souhait était également de permettre ce retour et ce travail en couche en permettant de rajouter, de superposer, de déterminer petit à petit certains paramètres. Cette possibilité de travailler, dans le modèle 3D, à partir de "calques sonores" qui se juxtaposent et se précisent, est justement permise par le support logiciel qu'est grasshopper et qui permet de transformer ou de juxtaposer des paramètres qui vont être générateurs ou modulateurs du résultat (ici spatio-sonore).

## Chapitre 2

# L'outil d'esquisse numérique comme système de conception architecturale

### 2.1 Introduction à la notion d'"outil"

Notre proposition consiste ici en une recherche exploratoire du développement d'un outil d'aide à la conception des ambiances en architecture. Il sera le fil conducteur en étant à la fois objet d'étude et résultat ; en effet, il constitue autant un aboutissement qu'un terrain d'investigation de la recherche. Cette posture méthodologique particulière nous conduit naturellement à cette notion d'outil. Il nous apparaît en effet primordial de présenter ici ce que nous entendons à travers la notion d'« outil » et ainsi interroger la notion de manière large pour regarder ensuite plus spécifiquement sa place et ses articulations avec les ambiances et l'architecture.

#### 2.1.1 L'outil comme notion, mise en perspective du monde à l'objet

Un "outil", tout d'abord diffère dans sa constitution selon l'échelle ou l'angle envisagé lors de son développement. En effet, un outil est tout aussi bien la caractéristique de la pointe à tracer, objet doté d'une fonction unique, très précise et spécialisée<sup>1</sup> que celle d'une théorie fondamentale, outil de pensée et de développement qui peut décrire le fonctionnement de systèmes<sup>2</sup>. Pour cette raison, l'outil apparaît comme une grande notion difficile à recentrer sur les enjeux qui nous occupent ici. Néanmoins, si nous cherchons à préciser notre définition et à interroger quelles sont ses caractéristiques, on perçoit mieux ce pourquoi il peut être pertinent pour nous ici.

---

1. Elle permet de marquer de manière précise une pièce avant son perçage

2. Ils peuvent à l'extrême régir des fonctionnements à l'échelle de l'anthropocène si l'on pense aux modèles économiques, aux outils du droit, ou encore à des théories philosophiques

## Distinction objet/moyen

Si l'on se penche sur la définition du terme lui-même, on constate que le terme outil renvoie directement au "moyen" de transformer l'environnement (quelle que soit son échelle et la proximité du moyen avec ce dernier). Il -l'outil- est plus précisément décrit comme l'objet qui 'incarne' le moyen de la transformation. En effet, par définition il se trouve cohérent (*de manière naturelle ou transformée*) avec la fonction pour laquelle il est employé :

« *Objet fabriqué, utilisé manuellement, doté d'une forme et de propriétés physiques adaptées à un procès de production déterminé et permettant de transformer l'objet de travail selon un but fixé* »<sup>3</sup>

On note que dans la définition la fonction se trouve associée à un but (ou objectif). Cette association, qui constitue d'ores et déjà un système nous mène à une définition du mot plus figurée, ou l'outil devient une notion et n'est plus un simple objet.

Ces deux faces de la même notion (l'objet et le moyen) se retrouvent d'ailleurs dans l'étymologie du mot outil qui se partage entre deux hypothèses dominantes. La première, propose un lien avec le terme latin *ustensilia*, qui signifie lui même « objet usuel », ou encore d'*uti*, qui veut dire « se servir de » (Morfaux & Lefranc, 2011), et la seconde qui rejette ce lien au latin « qui d'ailleurs aurait donné oustil et non ostil » et qui lui préfère le mot *usadej* provenant du milanais « ustensiles de cuisine », ce terme venant lui-même de l'italien *usare*, que l'on traduit par utiliser, ou se servir, « voit dans ostil une formation analogue » (Littre, 2013)<sup>4</sup>.

L'étymologie du mot pose donc cette interrogation fondamentale qui oppose l'outil comme un objet, (d'ustensile donc) et l'outil comme action, d'« utiliser » ou « se servir ». Nous ne chercherons pas ici à défendre l'une ou l'autre des hypothèses, mais bien à interroger la complexité de leurs relations. En effet pour nous l'outil moyen n'est pas indépendant de l'outil objet : c'est justement cette articulation entre l'objet et l'action qui motive notre approche.

Cette association s'illustre par ailleurs très bien avec l'apparition de l'ordinateur, fruit de cette articulation des moyens. Les théories mathématiques, outils métaphoriques ou "non-tangibles" associés à la machine ou encore aux systèmes électroniques - des outils-objets - ont en effet fait naître l'outil numérique que l'on connaît aujourd'hui<sup>5</sup>. "Computer" par exemple, si l'on reprend l'étymologie latine renvoi au calcul,

3. CNRTL : Définition d' OUTIL. <https://www.cnrtl.fr/definition/outil>, consulté en Juillet 2019

4. « *C'est bien du côté d'usus qu'il faut chercher, mais non tout à fait de cette façon : le bas-latin avait usibilia, ustensiles (texte du IXe siècle) ; au lieu d'usibilia, on a probablement dit usitilia, d'où ustil. C'est vers le XVe et le XVIe siècle que la forme sans 's' a pris le dessus ; il est possible qu'alors on ait imaginé une assimilation entre ostil et utile.* » (Littre, 2013)

5. Antoine Picon présente d'ailleurs le travail de Claude Shannon qui en 1938 fait le lien entre les théories mathématiques de Boole et l'utilisation des machines (Picon, 2010)

là où le mot "Ordinateur" renvoi plutôt à "celui qui ordonne" ou qui "institue" : «celui qui institue quelque chose»<sup>6</sup>.

Cette vision "large" de la notion d'outil nous présente ainsi une définition qui englobe à la fois l'objet et l'utile. Indépendamment de cette distinction, nous pouvons dire malgré tout - qu'il soit objet ou système - qu'il est le « moyen matériel d'action sur la nature dû à l'intelligence humaine » (Morfaux & Lefranc, 2011).

## **Machine, outil et machine-outil**

Lorsque l'on parle de machine et d'outil, on a de fait tendance à opposer les deux termes, l'un étant associé à un objet manipulé par l'homme et l'autre un objet autonome à toute manipulation (La machine-outil devient dans ce cadre-là une articulation possible entre les deux<sup>7</sup>). D'après la définition de la notion d'outil que nous avons retenue précédemment, les deux termes ne sont pas analogues : l'outil ne peut se résumer à un simple objet. Il reste nécessairement selon nous attaché à un moyen qui prend différentes formes, matérielles, immatérielles, manipulables, non manipulables, tangibles ou in-tangibles.

La subtilité de la machine, c'est qu'elle trouve son essence dans l'utilisation d'énergie extérieure à la seule force humaine (Morfaux and Lefranc 2011), mais aussi, et surtout dans sa capacité à transformer cette énergie pour produire un effet donné (CNRTL, s. d.). Ainsi, on peut parler de machine dès lors qu'il y a transformation d'énergie extérieure à la force humaine.

Le terme machine décrit ici un mode de fonctionnement précis, là où l'outil décrit un objet associé à un type d'action. Outil et machine opèrent à des niveaux de descriptions différents. La machine est d'ailleurs un outil au sens strict, car il s'agit bien d'un moyen d'action sur l'environnement associé à une mise en œuvre humaine.

## **Une interface triple : l'objet technique**

Pour manipuler cette dualité, il nous est utile de présenter ici la notion d' "objet technique" employée par Gilbert Simondon et qui permet de regrouper sous une même notion les éléments fabriqués et pensés par l'homme comme moyen pour arriver à une fin (outils et machines).

Bien que l'objet technique découle pour Simondon de sa genèse, il nous faut pour le définir regarder du côté de son "appartenance à une espèce technique" (Simondon, 2012). La technique se définit elle par une transformation de la nature par l'homme,

---

6. La mer des Histoires, II, 68a ds Rom. Forsch : CNRTL : Étymologie de ORDINATEUR. <https://www.cnrtl.fr/etymologie/ordinateur>, consulté en Juillet 2019

7. L'appellation de machine-outil présente la combinaison d'une machine capable de transformer une énergie et d'un outil-objet que l'on manipule. L'outil ici est réduit à sa qualité d'artefact et non de notion complète.

or elle est traditionnellement opposée à la pratique qui trouve son essence dans sa finalité :

*"Activités volontaires visant des résultats concrets"* (Robert, DL 2015, cop. 2015)

On retrouve dans l'objet technique de Simondon cette volonté de détacher la définition de l'objet technique d'une finalité. En effet, cette dernière ne nous dit rien de l'outil ou de la machine, c'est la manière dont il ou elle se fabrique et articule son environnement avec les finalités qui sont les siennes qui permet de le décrire pleinement. Ainsi on comprend que la même fin ne définit en rien le moyen employé.

Néanmoins, nous pourrions commenter que si c'est dans la genèse de l'outil que se trouve sa définition ou sa description la plus juste, c'est rarement sans finalité que se développe l'outil ou la machine.

L'objet technique n'est également pas dépourvu d' "usage" puisqu'il nécessite une utilisation : un lien avec l'homme (qu'il soit de l'ordre de la manipulation<sup>8</sup> ou du réglage<sup>9</sup>). Ainsi, "utilisé" - *qu'il y ait une interface physique ou non* - il devient comme une « prolongation » de notre corps. Selon Bergson, la capacité à utiliser et à fabriquer des outils est « la caractéristique constante de l'homme ». Cet homme qu'il appelle homo faber -en opposition ou en complément à homo sapiens- se caractérise donc par sa « faculté de fabriquer des objets artificiels, en particulier des outils à faire des outils, et d'en varier indéfiniment la fabrication »(Bergson & Worms, 2013)

La notion d'objet technique - qui englobe à la fois l'outil et la machine - nous permet ainsi d'introduire plus clairement la dimension d'usage, car elle définit comme un tout à la fois l'objet et son utilisation qui deviennent des sous-ensembles de cet « objet technique ». Pour cela, nous le définissons comme "un objet transformé permettant un usage". L'objet technique est ainsi une triple interface entre l'homme et le monde. Fabriqué par l'homme, il lui sert ensuite à « transformer » son environnement au travers d'une utilisation qui lui est propre. On pourrait alors le décrire comme une triple interface, avec l'homme d'abord qui l'utilise et avec le monde ensuite qui le fabrique et qu'il transforme.

### 2.1.2 Architecture et objet technique, pourquoi un outil ?

En architecture cet outil peut faire référence au crayon tout autant qu'au logiciel de CAO, à l'ordinateur à la souris ou encore à la feuille de claqué ; tous ces objets techniques étant souvent interdépendants les uns des autres. L'instrument de l'architecte est en effet varié et trouve sa singularité dans cette variété : ces derniers permettent de tendre vers une pluralité d'objectifs et de finalités complémentaires

8. On entend par "manipulation" aussi bien les actions physiques (conjointes à l'action de l'objet technique) que les mises en œuvre.

9. On entend par réglage toutes les actions - physiques ou non - qui permettent le fonctionnement adéquat de l'objet technique dans son environnement

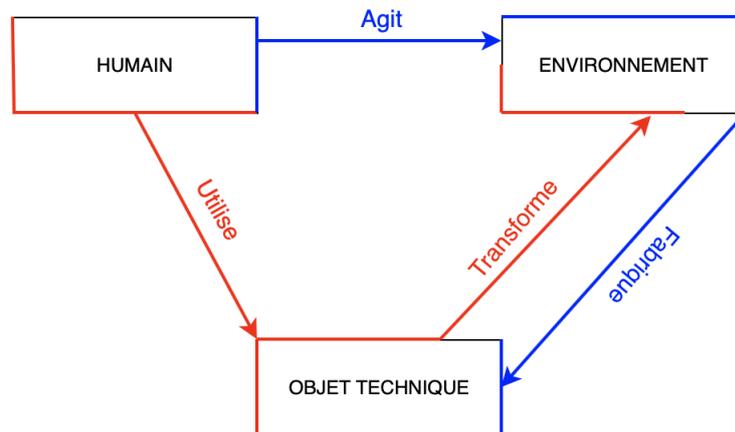


FIGURE 2.1 – L’objet technique, triple interface

(qu’il s’agisse d’objectifs quantitatifs ou d’objectifs qualitatifs et qu’ils soient associés à des contraintes ou à des volontés spécifiques). C’est ainsi en adéquation avec ces enjeux pluriels que les différents outils sont mobilisés.

Prenons l’exemple d’une machine à commande numérique<sup>10</sup>, cette dernière ne sera pas mobilisée et utilisée de la même manière selon la discipline qui l’emploie. La même machine dans une usine qui produit des pièces en série et dans un atelier d’architecture qui conçoit et fabrique des pièces uniques se verra associée à des modes d’utilisation complètement différents. La première va passer d’abord “dans les mains” d’un ingénieur pour optimiser son installation au sein de l’écosystème en place, puis d’un ingénieur processus qui se chargera d’optimiser sa ou ses tâches selon les objectifs de fonctionnement, d’un ouvrier spécialisé pour la calibration, et enfin d’un autre ouvrier spécialisé qui achèvera, préparera ou complètera les tâches de la machine avec les manipulations physiques ou numériques nécessaires au bon déroulé du processus. Toutes ces opérations, dans la deuxième situation seront bien souvent condensées sous la responsabilité d’une ou deux personnes. Les enjeux étant multiples dans la discipline architecturale et donc les compétences interdisciplinaires, les modes d’utilisation de la machine s’en retrouvent transformés puisqu’il n’est plus question de produire avec une finalité stricte de qualité et/ou de quantité,

10. La commande fait référence ici à tout ce qui peut donner des instructions d’animation à la machine (déplacement, usinages, etc.) ; la machine à commande numérique (ou machine CNC pour “Computer Numerical Control”) reçoit donc ses instructions de mouvement par le moyen d’une interface numérique : fraisage, centre d’usinage, robotique, tournage, etc.

mais bien d'orchestrer la multitude d'enjeux qui trouvent leur "solution" dans le dispositif produit. Ainsi l'architecte dessine d'une main pendant qu'il écrit son code de fabrication de l'autre.

Ces modes de pensées et d'usages qui tendent à maîtriser le processus de la conception jusqu'à la fabrication fabriquent une autre manière d'utiliser les objets techniques contemporains, qu'ils soient des programmes informatiques ou des machines. L'utilisation elle-même devient non standard<sup>11</sup> et l'homme derrière la machine "décide" à travers son utilisation du processus de réalisation.

Ainsi, si l'on questionne par quels moyens les outils permettent d'arriver à des finalités architecturales, on doit prendre en compte les manières avec lesquelles ils sont utilisés. Cette spécificité, mise en lumière par les opportunités et les modes d'utilisation des outils numériques de conception nous amène à interroger l'objet technique de l'architecte au travers des moyens qu'il propose.

Pour comprendre en détail ces moyens qui s'inscrivent dans une dynamique continue de l'esquisse à la réalisation et pour comprendre comment ils s'articulent à la conception, nous faisons le choix de prendre pour cas d'étude un outil à manipuler et à appréhender dans un contexte de projet. Par ailleurs, pour parfaire l'ancrage contemporain qui sous-tend notre travail (*comme nous l'avons vu, nous voulons spécifier cette investigation par les opportunités ou potentiels que pourraient offrir les évolutions techniques contemporaines et donc les outils numériques de conception*) nous proposons de fabriquer cet outil ; c'est-à-dire de le développer de manière à pouvoir suivre son cycle d'élaboration et d'utilisation. Ainsi notre enquête pourra "évaluer" en parallèle ses modes de développement et ses "emplois" ou "utilisations".

## L'outil numérique

Notre choix de fabriquer et donc d'étudier un outil sous sa forme numérique part d'un postulat et d'une observation de ces derniers dans notre discipline, mais aussi dans les disciplines associées. L'irruption des ordinateurs dans la quasi-totalité des opérations cognitives n'est pas une nouveauté et on constate cette mutation des opérations de la cognition - historiquement analogiques ou "humaines"- vers le numérique depuis le milieu du XXe siècle :

*"Dès lors, dans la nouvelle économie informatisée, tout devient "Assisté par Ordinateur" (AO), comme en témoigne dès les années 1980 le succès des sigles CAO[...],DAO[...],GAO,[...], auxquels on peut ajouter aujourd'hui, parmi tant d'autres, les outils de CRM (Customer Relationship Management), ainsi que les services de cloud. Quand nous disons que "tout" devient assisté par ordinateur, nous parlons donc de tout ce qui relève de l'esprit." (Vial & Lévy, 2013)*

---

11. Terme emprunté au catalogue d'exposition "Architecture non standard" (Migayrou, 2003)

Néanmoins, les développements et les utilisations récentes des outils numériques nous amènent depuis une vingtaine d'années<sup>12</sup> vers un nouveau modèle - ou pour les plus sceptiques vers une nouvelle mode - de la conception architecturale.

L'objet de ce travail n'est pas d'évaluer la pertinence ou la justesse à mobiliser de tels outils pour et dans la conception architecturale ; et encore moins de prendre parti pour ou contre une société numérisée. Nous cherchons plutôt à inscrire les enjeux qui nous occupent (la prise en compte des ambiances dans la conception architecturale et urbaine) dans cette réalité contemporaine en évaluant ses potentiels et ses freins de manière à pouvoir en envisager les suites.

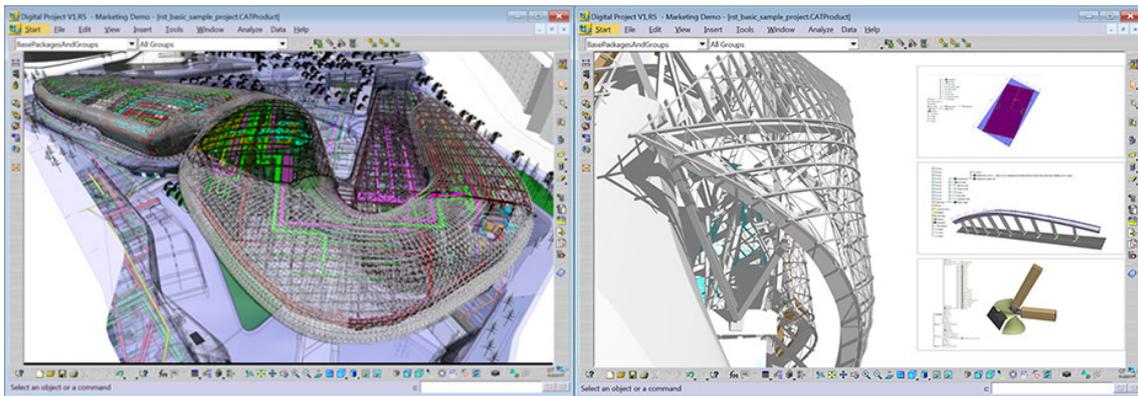


FIGURE 2.2 – Captures d'écrans du logiciel Digital Project dans son état actuel source : *www.digitalproject3d.com*, Copyright Digital Project, 2015 ; tous droits réservés

Nous voulons parler ici de nouvelles méthodes qui apparaissent avec la transformation des outils et des nouvelles pratiques qui leur sont associées. L'imbrication forte entre l'environnement numérique et le monde physique ou "réel"<sup>13</sup> amène à de moins en moins dissocier les expériences analogiques et numériques, et cette hybridation s'opère en partie par les outils qui croisent les différents environnements de travail. Nous pensons spécifiquement ici à une manière de travailler qui englobe dans un seul et même processus conception et fabrication et qui permet de faire fonctionner cette dynamique auparavant linéaire comme une boucle ; un aller-retour entre matière et pensée l'une nourrissant l'autre et réciproquement. Cette méthode

12. On peut situer l'apparition d'une "architecture digitale" (associée notamment au développement de programmes spécifiques et à des processus de conception propres à ces derniers) au début des années 90 : Frank Gehry expérimente pour la première fois en 1992 un outil de conception assistée par ordinateur (*Digital Project* - voir 2.2, page 39, ) pour dessiner et construire le projet 'El Peix' à Barcelone (Voir figure 2.3, page 41, )

13. Le monde que l'on continue d'appeler "réel" en opposition à celui qui serait "virtuel" ne fait selon nous plus beaucoup de sens aujourd'hui au regard de l'hybridation des pratiques et des rapports humains entre ces deux environnements de vie. L'étude de cas de la rue commerçante dans la ville Wuhan par Yi Xun en est une bonne illustration concrète (Xun, 2016)

itérative de la conception est notamment rendue possible par l'émergence de nouveaux outils (outils à fabriquer et outils à dessiner s'hybridant plus que jamais), et bien que ces dernières ne soient pas nouvelles, elles s'apparentent aujourd'hui à une pratique quotidienne, pour les professionnels autant que pour les étudiants en architecture<sup>14</sup>.

L'outil numérique promet également une liberté d'échange et une ressource "communautaire" sans précédent via les moyens de partage que nous pouvons construire, mais aussi via les communautés déjà existantes et particulièrement actives sur la question des outils pour la conception spatiale. En effet, une grande partie des méthodes numériques bénéficient aujourd'hui de canaux d'échanges formels et informels en ligne pour se diffuser, s'améliorer voir se créer de toute pièce sur la base de partage - qu'il s'agisse de connaissances pour solutionner des questions techniques, de temps pour tester les outils, de "blocs" de codes qui sont réutilisés pour différentes applications, ou encore de retours utilisateurs qui valident ou invalident certains choix. Il a également été relevé dans les communautés propres aux outils libres et à code ouvert (en open source) une forte corrélation entre le partage de connaissance et le travail de développement en lui même (Sowe, Stamelos, & Angelis, 2008).

Le choix que nous avons fait de travailler via le *plug-in* Grasshopper pour Rhinoceros 3D<sup>15</sup> est fortement lié à la communauté existante autour de ces deux outils. Ce partage de connaissance a non seulement permis de débloquent beaucoup de nos soucis techniques lors des différentes phases de développement (*notamment grâce à la large communauté du langage de programmation Python lors de la refonte complète d'EsquisSons*<sup>16</sup>), mais il a également permis de diffuser l'outil et de recevoir un grand nombre de retour positifs et négatifs qui ont servi à aiguiller des choix de forme et de fond et donc à mobiliser notre temps sur le développement de manière plus ciblée.

### 2.1.3 Outil et machine / technique et technologie

#### De l'outil à la technique

La notion d'outil ne peut se définir sans un sous-ensemble plus grand qui l'englobe, celui de la technique. Pour Heidegger, « La fabrication et l'utilisation d'outils, d'instruments et de machines font partie de ce qu'est la technique. En font partie ces choses mêmes qui sont fabriquées et utilisées » (Heidegger, 1980) ; il précise que font également partie de la technique « les besoins et les fins auxquelles elles [(ces choses fabriquées)] servent ». Pour Heidegger, c'est donc l'ensemble de ces éléments qui

---

14. Voir les exemples de l'ETH ZURich et du mouvement maker au début des années 2000, mais aussi de la démocratisation et de l'émergence des systèmes CAO/FAO dès les années 1990 (Lallemand, 2020)

15. Voir en détail la section 5.1.1, page 103,

16. Voir Section 5.3.3, page 129,



FIGURE 2.3 – Le Golden Fish à Barcelone (Frank Gehry) est le premier projet à avoir utilisé L'outil Digital Project, *source : wikimedia.org, photo by Ad Meskens, Creative Commons by-sa*

fait la technique. Il va même plus loin puisqu'il l'a décrit « elle-même » comme un dispositif (« *Einrichtung*, en latin *instrumentum* »).

Pour ces raisons, nous souhaitons préciser et interroger ici la notion de « technique » dans son ensemble plutôt que de ne questionner que l'outil, élément ou partie de ce tout. De cette façon, l'outil est interrogé à travers sa fabrication, son utilisation et les fins vers lesquelles il mène. L'objet d'analyse devient alors le système complet que forme la technique en tant que dispositif. La technique - à la différence de l'outil - ne peut pas non plus être considérée comme un « instrument », comme un « objet utile », elle est d'après Simondon le médium, ou le médiateur entre l'homme et le monde.

*« La technique intervient entre perception et science, pour faire changer de niveau ; elle fournit des schèmes, des représentations, des moyens de contrôle, des médiations entre l'homme et la nature » (Simondon, 2012)*

Nous ne développerons pas plus ici les différents regards qui ont pu être portés sur la technique comme une constance ou une prolongation du monde socio-économique (comme le développent Heidegger ou Marx par exemple), mais nous cherchons en revanche à interroger son caractère propre : la médiation<sup>17</sup> et ce qu'elle permet ou augure si l'on regarde de plus près l'objet technique.

Simondon sur cette question va un peu plus loin, pour lui l'objet technique « *ne se borne pas seulement à créer une médiation entre l'homme et la nature* », mais il permet de créer un couplage entre la pensée humaine et la nature : « *L'opération technique, au lieu d'être pur empirisme, construisant ainsi un monde structuré, fait apparaître une nouvelle situation relative de l'homme et de la nature* »(Simondon, 2012). Ce point nous intéresse particulièrement puisqu'ici la médiation n'est plus limitée au rôle d'interface ou d'intermédiaire, mais bien comme une potentialité de couplage, l'objet technique « *donne à son contenu humain une structure semblable à celle des objets naturels, et permet l'insertion dans le monde des causes et des effets naturels sur cette réalité humaine* »(Simondon, 2012). C'est justement ce « mixte » comme l'appelle Simondon qui nous intéresse ici ; lorsque l'outil a cette capacité à transformer à la fois son utilisateur et son milieu et qu'il devient médiation par cet assemblage.

L'outil, objet technique, n'est donc pas un simple artefact qui ne serait qu'un intermédiaire entre l'homme et la nature, mais il agit bien comme un acteur modifiant l'un et l'autre. De fait, on intègre à cette définition les besoins et les fins liés à l'outil, et on se rapproche des deux réponses que fait Heidegger à la question qu'est-ce que la technique ? : « *D'après l'une, la technique est le moyen de certaines fins. Suivant l'autre, elle est une activité de l'homme* » (Heidegger, 1980). Deux réponses qui sont de fait solidaires, « *car poser des fins, constituer et utiliser des moyens, sont des actes de l'homme* »(Heidegger, 1980). En effet on ne considère pas la technique comme le simple regroupement des outils permettant de transformer son milieu, mais bien comme un système articulant à la fois l'objet (l'artefact), le milieu et l'utilisateur. Ainsi, "l'objet technique" pourrait être vu comme une "interface", qui fait le lien mais aussi qui appartient à l'un et à l'autre sans les mélanger. L'objet technique, plus qu'un intermédiaire devient une modalité d'interaction entre l'homme et son milieu.

### **Une condition nécessaire à l'action de l'homme sur le milieu et réciproquement**

On parle alors d'objet technique plus que d'outil afin élargir leur rôle et leur sens : l'objet technique devient un élément qui modifie à la fois l'homme et la nature et n'est plus simplement intermédiaire entre le premier et le second. Rapporté à

---

17. Voir la médiation technique : "comme mise en relation active entre l'homme et certains éléments de son environnement"(Akrich, 1993)

l'architecture et à la conception, cet assemblage peut s'illustrer à travers différents exemples, du plus simple au plus complexe. Ainsi, entre la main et la feuille de papier, il opère à la fois une transformation du monde par l'homme qui dessine, mais aussi une transformation de l'homme qui va adapter et construire ses gestes par rapport à lui. Ainsi, l'individu ne dessinera pas de la même façon avec un feutre, un crayon de papier, un pinceau ; ou même avec un crayon neuf ou un crayon déjà utilisé.

Aussi, il est important de considérer les outils à travers leurs capacités à former des systèmes et là encore à transformer l'utilisateur et le monde. Au-delà de l'outil de dessin -qui prolonge la main-, le support sur lequel on dessine va lui-même impacter nos gestes, nos traits et donc notre dessin qui en est le « résultat ».

Pour autant, si l'on considère cet exemple simple du dessin, il ressort que le système main/crayon/feuille n'est pas préexistant à tout, il n'est pas la seule cause du résultat puisqu'avant lui il y a l'image : la représentation mentale qui va être traduite sur la feuille. Plus en amont, il y a également ce qui nous fait et nous rend capables d'utiliser ce crayon : des processus cognitifs tels que le langage, la capacité d'abstraction ou le rapport à l'espace par exemple qui sont eux-mêmes l'héritage d'une "collaboration" entre notre expérience, notre appréciation de l'instant et la vision que l'on peut se faire du projet. C'est ce que notent Nizar Haj Ayed et Tomás Dorta dans leur article sur l'agentivité des systèmes immersifs et qui reprend justement ce croisement entre « l'assimilation du passé (prototypes socioculturels, habitudes, etc.) » , la « réflexion sur le présent (remise en question des prototypes, des habitudes, etc.) » et enfin la « projection dans le futur (par exemple, l'abduction de nouveaux prototypes et de nouvelles habitudes) » (Ayed & Dorta, 2021).

Cela pose alors la question des relations et des échanges entre les outils, les corps et l'esprit du concepteur. L'outil, ou l'instrument, n'est ainsi pas détaché de cette agentivité, il en est même un déclencheur, ou encore un influenceur puisque comme nous l'avons évoqué plus tôt, l'outil fabrique un système avec son utilisateur :

*« loin de l'effacer, la technique sollicite plus que jamais l'engagement du corps ; elle favorise une attention, une vigilance, voire une « écoute » particulière du corps. » (p.5) (Pillon & Vigarello, 2007)*

Vu sous le prisme du système, l'outil n'est alors plus un simple intermédiaire entre l'homme et son environnement, mais les transforme l'un et l'autre<sup>18</sup>. Il devient un élément indispensable - comme les deux autres - au résultat.

---

18. On peut d'ailleurs retrouver la même interaction avec l'édifice et la production architecturale qui n'est jamais un simple objet, mais bien un élément d'interaction à l'intérieur ou autour duquel se constitue un système

## 2.2 L'outil et l'automate

### 2.2.1 Les objets techniques et l'automatisme

Contrairement à la représentation commune qui attribue l'automatisme à une qualité de l'objet technique, Gilbert Simondon en parle comme « un assez bas degré de perfection technique ». En effet, il serait ici souvent fait un amalgame entre la signification économique et sociale et la signification technique de l'automatisme. Pour Simondon, le vrai perfectionnement correspond « au contraire au fait que le fonctionnement d'une machine recèle une certaine marge d'indétermination. C'est une marge qui permet à la machine d'être sensible à une information extérieure » (Simondon, 2012). On peut ici parler d'une capacité d'adaptation de la machine pour réagir aux éléments extérieurs. Ainsi plus elle est capable de s'adapter et plus elle devient performante « techniquement ». Elle possède ainsi une marge capable d'encaisser les variations qu'on lui propose et « sait » s'y adapter<sup>19</sup>

Cet amalgame pour Simondon proviendrait également d'une contradiction dans la représentation des objets techniques. Ils seraient en effet à la fois un « assemblage de matière, dépourvu de vraie signification » tout en étant dans le même temps « des robots [...] animés d'intentions hostiles envers l'homme » (Simondon, 2012). Cette ambiguïté, contribue alors à transformer la notion d'automatisme technique qui devient, une qualité de la machine « inerte » mais également un danger.

L'idée de penser l'outil par son adaptabilité apparaît pour nous comme un angle d'approche pertinent puisque permettant de ne pas réfléchir l'outil comme une « méthode miracle » mais bien un moyen, qu'il va falloir employer. C'est à partir de ce moyen que l'on construit un processus afin de faire ressortir un résultat<sup>20</sup> (adapté à la complexité du système et donc pas forcément attendu).

### 2.2.2 Vers l'adaptabilité

L'outil chez l'homme est également représentatif d'une émancipation face à la nature, il est à ce titre souvent énoncé comme une des différences majeures entre l'homme et les autres animaux (Bergson & Worms, 2013). Au-delà de cette proposition -parfois critiquée, mais dont nous ne chercherons pas à établir l'exactitude ici- ce

19. On remarque d'ailleurs les mêmes mécanismes avec l'humain et la définition de l'expertise qui ne correspond pas à "tout savoir sur tout" mais bien à pouvoir s'adapter : « *L'expertise reflétera ainsi l'aptitude d'ajustement aux variations multiples caractéristiques des situations de la vie réelle, qu'il s'agisse de la matière première, de la disponibilité d'outils, de la forme à produire, mais aussi des lieux, des conditions sociales ou encore rituelles de la réalisation de ces actions ; en fait de l'ensemble des conditions possibles de production du geste technique* » (Bril, 2019)

20. Pour définir l'objet technique, il faut le définir « en lui-même, par le processus de concrétisation [...] qui lui donne sa consistance au terme d'une évolution ». Cette évolution ou genèse permet de comprendre « les trois niveaux de l'objet technique, et leur coordination temporelle non dialectique : l'élément, l'individu, l'ensemble » (Simondon, 2012)

qui nous intéresse, c'est comment l'outil, simple objet utilitaire, se mue en notion qui se fabrique de concert avec la notion d'adaptation. Pour Bergson « *l'instinct achevé est une faculté d'utiliser et même de construire des instruments organisés ; l'intelligence achevée est la faculté de fabriquer et d'employer des instruments organisés.* »

Il décrit l'instinct comme associé à l'instrument naturel, qui « fait partie du corps qui l'utilise » il prend l'exemple de la griffe, ou encore de la métamorphose de la larve en nymphe puis en insecte : les « métamorphoses [...] exigent souvent, de la part de la larve, des démarches appropriées et une espèce d'initiative, il n'y a pas de ligne de démarcation tranchée entre l'instinct de l'animal et le travail organisateur de la matière vivante »

*« Les avantages et les inconvénients de ces deux modes d'activité sautent aux yeux. L'instinct trouve à sa portée l'instrument approprié ; cet instrument, qui se fabrique et se répare lui-même, qui présente, comme toutes les œuvres de la nature, une complexité de détail infinie et une simplicité de fonctionnement merveilleuse, fait tout de suite, au moment voulu, sans difficulté, avec une perfection souvent admirable, ce qu'il est appelé à faire. En revanche, il conserve une structure à peu près invariable puisque sa modification ne va pas sans une modification de l'espèce. L'instinct est donc nécessairement spécialisé, n'étant que l'utilisation, pour un objet déterminé, d'un instrument déterminé. »* (Bergson & Worms, 2013)

Comme nous l'avons dit, il n'est pas ici question de débattre de la supériorité d'une intelligence sur un instinct ou encore moins s'il y a ou non intelligence animale ; mais bien de regarder l'utilisation par l'homme des instruments. En effet il y a dans ce cas, comme l'établit Bergson une différence entre l'utilisation spécialisée ou spécifique d'un instrument *déterminé* et ce qu'il nomme l'intelligence ; capable de fabriquer un instrument. Il s'agit alors d'un « instrument imparfait [...] fait de matière inorganisée » qui peut « servir à n'importe quel usage » (Bergson & Worms, 2013). On voit bien ici un écho fort avec la pensée que développe Simondon sur l'adaptabilité de l'objet technique. L'instrument né de l'intelligence bergsonienne confère un nombre infini de solutions, puisqu'il n'est pas déterminé par avance. Il ne sera donc jamais si parfait que l'instrument naturel dédié à une tâche précise, mais à l'inverse disposera d'un avantage non négligeable en pouvant s'adapter à des situations ou des problèmes différents.

Simondon présente sous une autre forme la même démonstration :

*« Ces hommes [les paysans ou les bergers] sont des experts au sens étymologique du terme : ils ont part à la nature vivante de la chose qu'ils connaissent, et leur savoir est un savoir de participation profonde, directe, qui nécessite une symbiose originelle, comportant une espèce de fraternité avec un aspect du monde, valorisé et qualifié. L'homme se conduit ici comme l'animal qui sent l'eau ou le sel au loin, qui sait choisir la place de son nid de manière immédiate et sans raisonnements préalables. Une telle participation est de nature instinctive et ne se trouve que lorsque la vie des générations successives a produit une adaptation du rythme de vie, des conditions de la perception, et des structures mentales essentielles à un genre d'activité s'adressant à une nature stable » (Simondon, 2012)*

Ce qu'il nous plaît de relever à travers ces réflexions, c'est particulièrement comment l'imperfection de l'instrument mène à son adaptabilité et, du même coup, en fait son essence. Objet multitâche, qui fondamentalement peut servir à tout avec comme double condition comme on l'a vu, d'abord la nécessité de le penser (à travers l'intelligence que décrit Bergson) et ensuite la nécessité de l'utiliser, de l'employer. L'instrument tire sa puissance de son adaptabilité, de son imperfection et de son utilisation.

### 2.2.3 Rapport à l'outil : objet doté d'un mode d'agir propre

Le lien entre ces deux conditions (penser et utiliser l'outil) interroge donc notre rapport direct à l'outil. Ce qu'il faut alors prendre en considération, c'est que l'outil lui-même se trouve constitué par des modes d'agir qui lui sont propres. En effet, comme nous l'avons vu, il se constitue avec les "prises" qu'il offre sur lui-même et donc - au-delà de la possibilité d'adaptation que cela peut engendrer- des modes d'utilisation qui en découlent.

Ainsi l'instrument de musique, même s'il conduit d'apparence vers une même finalité (produire du son qui sera organisé sous forme de musique) sera doté de mode d'agir radicalement différent selon qu'il s'agit d'un instrument à cordes ou d'un instrument à vent par exemple. Et de ce fait les finalités (musicales et sonores) s'en retrouveront modifiées puisque le musicien aura « fabriqué » en interaction directe avec le mode d'agir de chaque instrument.

On comprend avec cet exemple et ce raisonnement qu'on ne peut résumer les modalités d'usage propre à chaque outil simplement au résultat (la musique) ou encore à l'action (pincer une corde ou souffler) ; mais qu'il faut considérer l'ensemble du système mobilisé par l'outil : l'action, le résultat et l'interface qui à eux trois

vont permettre une utilisation « réflexive » itérative. Ainsi le musicien « en faisant » va pouvoir s'entendre (résultat) pour adapter son jeu (interface) et sa composition (action) sans que l'un de ces éléments ne soit dissociable des autres.

## 2.3 Didactique de l'outil

### 2.3.1 Entre l'instrument et l'artefact

Si l'utilisation de l'outil est conditionnée par un mode d'agir qui lui est propre ; elle est aussi - de manière associée - conditionnée par l'utilisateur à travers sa manière d'interagir avec l'outil, ses effets et ses modes d'agir.

Pour interroger ces questions d'usage, on propose de s'intéresser au champ de la didactique et ainsi de poser la question de l'outil « en acte ». Nous choisissons ici de mobiliser la notion d'instrument que théorise Rabardel. Celle-ci consiste entre autres à la transformation de ce qu'il appelle l'artefact (l'objet) par son utilisation et donc par ses schèmes d'utilisation (Rabardel, 1995).

Rabardel met l'accent sur une nécessité de conceptualiser « l'association des hommes et des objets » afin de pouvoir les analyser et les comprendre. Il pointe ainsi l'importance de la relation entre le processus d'acquisition de la connaissance (la cognition) et le faire (l'action) dans notre relation aux outils :

*"Au plan fondamental enfin, la relation des hommes aux objets et systèmes anthropotechniques est au cœur de la relation cognition-action dont l'étude constitue une des tâches importantes de la psychologie contemporaine."*

La proposition de Rabardel est alors de regarder non pas l'un, puis l'autre, ou l'un et l'autre des modulateurs, c'est-à-dire l'outil, l'homme et son environnement de manière séparée, mais plutôt de penser le système qu'ils forment : quelles interactions ils fabriquent et comment ils influent l'un sur l'autre et vice versa. Si l'on parle de système ici, il ne faut pour autant pas le confondre avec le système technique, souvent utilisé pour décrire l'artefact et son fonctionnement, indépendamment du rapport que peut avoir l'homme avec ce dernier.

Ainsi, cette posture nous permet de sortir d'une difficile dualité sujet/objet, très présente dans l'étude des -d'ailleurs nommés - « objets techniques ». Pour Simondon, le sujet, même s'il intervient, reste extérieur au « système technique » ; il affirme notamment que pour qu'il puisse exister une compréhension et une incorporation des techniques à la culture, alors *"il faut qu'existe une objectivation de la relation technique pour l'homme"* (Simondon, 2012).

Nous ne cherchons pas ici à interroger cette incorporation, mais on pense qu'il est nécessaire de s'intéresser aux interactions homme-machine, et donc à « une approche psychologique du rapport [à ces] artefacts » (Rabardel, 1995) afin de les penser non plus uniquement comme des systèmes indépendants, mais bien comme la(es) partie(s) d'un environnement. Rabardel propose alors « un modèle qui situe l'instrument comme troisième pôle entre sujet et objet ». On pourrait représenter ces interactions entre les trois 'pôles' sous la forme d'un schéma.<sup>21</sup>

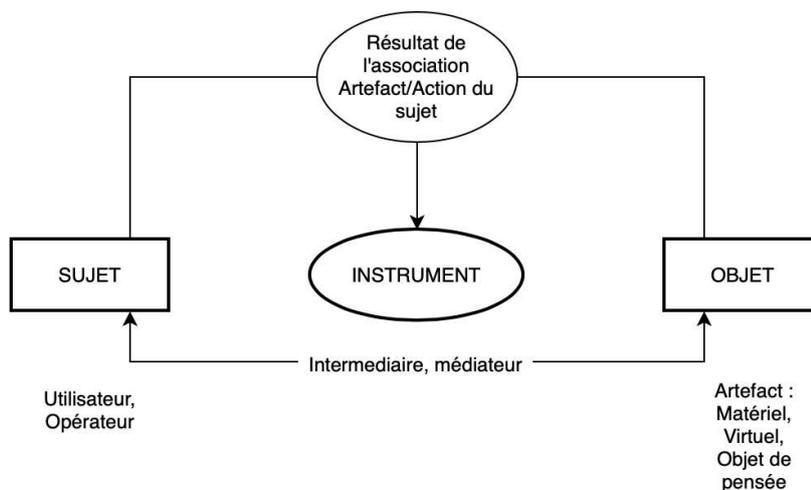


FIGURE 2.4 – Illustrations des interactions sujet/objet/instrument d'après Rabardel

*« Les interactions entre le sujet et l'instrument, les interactions entre l'instrument et l'objet sur lequel il permet d'agir et enfin les interactions sujet-objet médiatisées par l'instrument. »*  
(Rabardel, 1995)

Il apparaît alors important, tout d'abord, de préciser la notion de l'instrument chez Rabardel. En effet, dans les définitions habituelles, le terme fait souvent référence à ce que l'on appellera ici l'artefact ; c'est-à-dire l'objet matériel ou virtuel, faisant référence autant à l'artefact physique qu'à l'objet de pensée. Dans la perspective que nous proposons d'utiliser ici (*le modèle proposé par Rabardel dans "les hommes et*

21. Voir Figure 2.4, page 48,

*les technologies*"), l'instrument devient « une entité mixte qui tient à la fois du sujet et de l'artefact ». Cette association sous-entend - ce que l'on pointait précédemment - qu'il est important de considérer, en plus de l'artefact, les modes d'agir et les schèmes d'utilisation associés. L'instrument regroupe ainsi :

*« - un artefact matériel ou symbolique produit par l'utilisateur ou par d'autres. - un ou des schèmes d'utilisation associés résultant d'une construction propre ou de l'appropriation de schèmes sociaux préexistants. » (Rabardel, 1995)*

Dans cette conceptualisation, les schèmes d'utilisation ne sont pas exclusifs à un artefact précis, et inversement (des artefacts ne sont pas exclusifs à certains schèmes d'utilisation). C'est plutôt leur assemblage, ou éventuellement leur agencement dans le cas d'éléments hétérogènes, qui fait instrument. Ce regard sur l'objet technique (« outil technique » chez Rabardel) apporte un éclairage supplémentaire sur cette double incarnation que l'on esquissait précédemment. L'outil à la fois objet et moyen s'incarnerait alors dans la notion d'instrument qui associe à la fois l'artefact (matériel ou symbolique, mais objet tangible) et le ou les schèmes d'utilisations qui lui sont associés.

### 2.3.2 Relation forte entre le processus d'acquisition et le faire

Il n'est aujourd'hui plus nouveau ou à contre-courant de prôner une pédagogie par le faire – en architecture comme ailleurs – et de nombreux travaux cherchent à démontrer son efficacité. Sans faire ce même travail, il nous semble néanmoins pertinent de souligner l'importance du faire dans la conception. Celle-ci passant nécessairement par un processus de « recherche » d'une idée, qui ne se trouve confirmée que par le faire.

*« une idée vraie est une idée qui réussit. L'idée vraie est un accord de l'idée et du fait ; en somme, l'idée est l'instrument par lequel est construit le fait. Le fait est la conséquence de l'idée et non une donnée physique dont l'idée serait le transparent. Il n'y a pas de nature, de réalité, mais uniquement des situations forgées par nos idées, nos actions » (Rozier, 2010)*

C'est dans cette perspective que l'on inclut notre réflexion sur la notion d'instrument. En effet, elle rejoint pour nous cette idée en articulant le sujet et l'objet par l'utilisation de l'outil. On peut alors envisager le « résultat » qui émane de cet instrument, c'est-à-dire la transformation de l'environnement, comme une information-générée par le faire- permettant d'informer le sujet. On rentre alors dans un processus itératif infini, et donc à partir de ce que nous avons vu jusqu'alors, dans un processus bénéfique pour la conception.

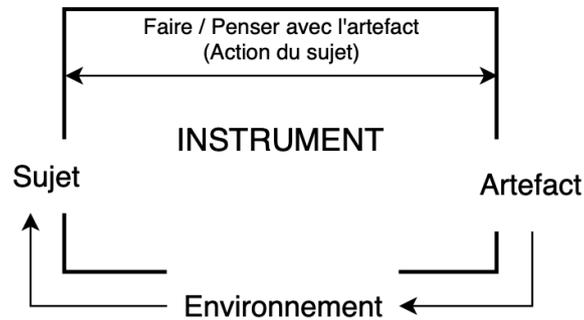


FIGURE 2.5 – Diagramme itératif Sujet / Artefact / Environnement

### 2.3.3 Didactique : outils numériques et conception architecturale

Cette approche qui questionne la relation entre les processus d'acquisition de la connaissance et le faire - à travers notamment l'interaction entre homme et outil - nous apparaît comme particulièrement pertinente pour interroger la conception architecturale à l'heure des outils numériques, et des schèmes d'utilisation et de conception qui en découlent. On peut faire référence par exemple au travail d'Aurélie De Boisieu sur la caractérisation des opérations cognitives de conception au prisme des nouveaux outils numériques et qui présente à la fois le fort potentiel, mais également la difficulté à appréhender l'outil qui doit être introduit à l'aide de "samples" ou de "patterns" à manipuler (de Boissieu, 2013). Elle montre également que la modélisation paramétrique correspond à "une activité de conception à part entière" mais aussi que si l'on sépare théoriquement conception architecturale et conception paramétrique, on constate alors des relations entre les deux qui sont *"de l'ordre de l'entremêlement par le partage de pertinence ou de référence [...] mais aussi des opérations d'appropriation de l'outil ou encore des opérations spécifiques à l'usage de modeleurs[...] Ces opérations permettent un entremêlement de la conception architecturale et de la modélisation paramétrique"*

## 2.4 Technique, conception et création

### 2.4.1 L'impact de l'outil sur la création : l'architecte et ses outils

De toutes les « disciplines » créatives, l'architecture est sûrement l'une des plus sensibles à la question de l'outil. En effet, par les conjugaisons disciplinaires qu'elle met en jeu l'architecture se doit de jouer aussi d'une conjugaison des outils, du plus technique au plus « sensible » afin pas simplement de construire, mais bien de construire pour l'homme et donc avec l'homme. C'est cette nuance qui nécessite l'utilisation de différents instruments permettant au concepteur d'intégrer des enjeux de natures diverses : enjeux structurels, enjeux d'ambiances, enjeux d'usages, enjeux sociaux et sociétaux, enjeux économiques ; et cela à des échelles variables. Cette multitude d'approches qui implique une pluralité d'outils n'est pas seulement une dimension qui doit être considérée comme une force pour l'architecte. En effet, à travers cette articulation des outils, notre « pluri-disciplinarité » peut vite devenir une faiblesse, voir peut-être même une menace pour penser et parler d'architecture. L'opposition frontale entre l'outil numérique et le dessin à la main n'est pas récente ni exclusive à l'architecte et un point souvent mentionné dans ce débat c'est l'efficacité ou le degré de créativité autorisé par les méthodes (le crayon, qui permettrait plus de liberté, ou l'ordinateur qui bride les possibilités par exemple). Mais il est possible d'envisager les restrictions, qu'elles soient analogiques ou numériques, comme des potentiels ou des ressources pour créer avec la contrainte et donc par exemple détourner ou adapter l'outil pour l'utiliser pleinement.

Il nous faut pour cela interroger les "spécificités" associées aux outils numériques en prenant en considération leur omniprésence contemporaine ; il ne s'agit donc pas de savoir si un "type" - analogique ou numérique - serait plus pertinent qu'un autre pour la pensée des ambiances dans le projet, mais plutôt de tester les possibilités d'un objet technique numérique pour cette question précise.

Proposer de mobiliser le "virtuel" pour penser le réel et notamment, comme on en fait l'hypothèse ici, pour le penser à travers ses modalités sensibles (vécues et perçues) peut apparaître comme une contradiction puisque l'on rajoute un intermédiaire entre le corps percevant et son environnement ; néanmoins, il nous semble important de tester cela afin de comprendre et d'élargir potentiellement le champ d'action des nouveaux outils pour la conception.

Sur ce point, il est également important d'appuyer la difficulté contemporaine à identifier ce qui est réel et ce qui est virtuel et notamment en architecture, discipline de projet qui "prévoit" ou anticipe le réel :

*« Une telle opposition [entre réalité virtuelle et réalité "véritable"] est difficile à défendre dans un domaine comme l'architecture. Un projet architectural est en effet un objet virtuel. Il est d'autant plus virtuel qu'il anticipe non pas une seule réalisation construite, mais toute une série de celles-ci »*<sup>22</sup> (Picon, 2004)

Si l'on choisit d'investiguer les outils numériques, ce n'est donc pas pour se positionner pour ou contre l'une ou l'autre des méthodes, mais plutôt pour les prendre en compte objectivement et relativement à la place qu'ils occupent dans la conception contemporaine tout en interrogeant leurs potentiels dans les champs qui nous occupent ici.

## 2.5 Le déterminisme de l'outil sur la conception

L'outil, puisqu'il a tendance à offrir des possibles, ouvre aussi ce que l'on pourrait appeler des "angles" ou des "focalisations" pour la production/fabrication, mais aussi pour la pensée ou la conception. Ce sont ces "angles" préfigurés par des possibles que nous considérons ici comme des déterminants du résultat. On peut prendre l'exemple de la fabrication "mécanisée" qui est aujourd'hui mécaniquement déterminée. Ainsi, les lignes de productions constituées par les machines, les transports, mais aussi par les matériaux, sont toutes associées à des procédés techniques et mécaniques qui orientent la production et par conséquent sa finalité. Bien souvent motivées par des objectifs économiques, ces productions mécaniquement déterminées résultent d'optimisation du temps et de la matière. Néanmoins, on retrouve par analogie ce type d'orientation ou "déterminisme" dans tous les types de productions, même celles qui cherchent à s'affranchir d'une "optimisation" économique ou encore d'outils mécanisés. En effet, l'utilisation de l'outil manuel plutôt que la machine-outil -ou vice versa- va conduire à des productions différentes. Par leurs réalisations d'abord, directement liées aux techniques employées ensuite, et enfin, plus en amont par les méthodes ou procédés de conceptions qui vont s'avérer transformés, ou adaptés aux techniques pressenties pour la fabrication.

Cette "prégnance" de l'outil sur la pensée de ce qui est projeté a ainsi pu être utilisée pas un grand nombre d'artistes qui, plutôt que de le subir en on fait un pan complet de leur travail de création (on pense pour les plus connus d'entre eux à Pierre Soulages (Ragon, 2013) ou à Hans Hartung (Burluraux, Claustres, Coccia,

---

22. Traduction réalisée par l'auteur. *Texte original* : "Such an opposition [between virtual reality and true reality] is hard to sustain in a domain like architecture. An architectural project is indeed a virtual object. It is all the more virtual that it anticipates not a single built realization but an entire range of them"

Decron, & Collectif, 2019) qui en sont arrivés à fabriquer eux-mêmes leurs outils pour réaliser leurs toiles.

Cette idée d'un déterminisme de l'outil en architecture, et plus particulièrement ici des outils numériques est une question décisive pour comprendre les modalités et les pratiques de conceptions associées à un outil. En effet, il ne s'agit pas pour nous d'étudier en détail l'ensemble des outils disponibles pour l'architecte à travers leur déterminisme, mais nous pouvons tout de même extraire de grandes tendances associées à de grandes familles.

### 2.5.1 Différents types d'outils

La famille des logiciels de DAO<sup>23</sup> par exemple a cherché à reproduire les méthodes associées au dessin "analogique" en calquant la souris sur la main ou la pointe du crayon et en permettant ainsi à l'architecte de littéralement "dessiner" numériquement. On retrouve encore aujourd'hui beaucoup de logiciels ou de matériels proposant d'aller toujours plus loin dans cette analogie<sup>24</sup>. La particularité du dessin numérique c'est qu'il obéit à des règles particulièrement précises et binaires parfois difficiles à marier avec la pratique du dessin manuel, dont les seules "règles" sont celles données par la contrainte du support (la feuille) et du dispositif marqueur (le crayon) -encore une fois l'outil-. À cet égard, le dessin numérique ne peut jouir d'une telle souplesse et les tentatives de reproduire les procédés du dessin analogique, même si elles apportent des compensations non négligeables<sup>25</sup>, restent assujetties aux contraintes de l'outil. La plus connue, l' "absence" d'une échelle reliée à ce que l'on dessine englobe aussi d'autres problématiques comme celle de la précision absolue, l'impossibilité de l'à peu près, ou encore la difficulté à "sédimentier" les idées par la succession de tracés qui ne font qu'un.

Avec le temps les outils ont évolué et certains se sont extraits de cette "reproduction" du dessin analogique pour explorer de nouvelles modalités du dessin et de la modélisation en trois dimensions. Les précurseurs de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) -dont l'objet est comme son nom l'indique n'est plus seulement de dessiner, mais bien de concevoir et de tester - ont d'ailleurs dès les années 60 exploré les pistes offertes par l'outil numérique (les premiers outils émergent dans l'automobile avec par exemple la création de CAO Unisurf par Pierre Bezier (Michel, 2021)) au-delà du mimétisme main/crayon.

On assiste depuis une dizaine d'années à un retour de ces modes d'utilisation "spécifiques" et propres aux outils numériques avec la mobilisation des langages de programmation et une écriture sous la forme de processus des modalités qui font pro-

---

23. « Dessin Assisté par Ordinateur » : terme

24. AutoCad 2D, Illustrator, CorelDraw, etc.

25. On pense par exemple ici aux possibilités offertes par l'historique, la sauvegarde, la modification a posteriori, etc.

jet. Cela peut-être en partie attribué à la démocratisation et au développement des procédés de prototypage par machine à commande numérique qui facilite le "file to factory"<sup>26</sup> ; mais aussi des grandes capacités de calcul des machines contemporaines qui permettent le design génératif<sup>27</sup> qui constitue un changement de paradigme dans le processus de conception et dans son expression :

*« Pour les concepteurs, cela implique une reconsidération des objets statiques et des actions qui les manipulent. On passe ainsi de la notion d'artefact à celle de composants, de systèmes et de processus, qui ensuite viennent générer ces artefacts dotés de propriétés spécifiques »*<sup>28</sup> (McCormack, Dorin, & Innocent, 2004)

. Enfin les nouveaux outils numériques se trouvent plébiscités pour leur capacité technique à simuler et à tester des projets architecturaux selon différents critères auparavant complexe à évaluer.

*"De John Neumann théoricien des fluides élaborant des modèles de prédictions météorologiques, à Abraham Robinson le pionnier de l'analyse non standard, ayant commencé par la modélisation des turbulences. L'architecture renoue aujourd'hui avec la théorie des nombres, avec des langages symboliques aux multiples interfaces (Mathematica, Python, Matlab, etc.), avec des modèles de simulation générique qui sont partagés aussi bien en physique, qu'en biologie, initiant de nouvelles proximités"* (Migayrou et al., 2018)

Le fonctionnement sous la forme de script ou de processus ajoute à cela une fluidité et une interaction simplifiée entre les différentes étapes ce qui permet d'imaginer facilement un regroupement de ces trois potentiels à travers un processus qui génère, test puis fabrique de manière itérative.

Au regard de ces transformations des outils, on constate alors une transformation des usages et des pratiques avec l'outil qui génèrent de nouveaux schèmes d'utilisation et comme on le disait tout à l'heure une agentivité particulière. L'outil numérique comme outil de programmation (visuel ou textuel) retrouve un potentiel

---

26. File to Factory fait référence à un procédé qui utilise des stratégies de conception et de fabrication basées sur des principes de calculs informatiques et qui permet une connexion transparente entre conception et fabrication. Cela aboutit à un transfert direct de données d'un logiciel de modélisation 3D à une machine CNC (Computer Numerically Controlled)(Oosterhuis, 2004)

27. Le design génératif correspond à un processus itératif qui selon un ensemble de contraintes connues, va générer une série de résultats. La méthode permet d'obtenir des résultats sous forme de série et ainsi d'explorer -en architecture - un certain nombre de morphologies ou de spatialités répondant aux contraintes préalablement décidées

28. Traduit par l'auteur ; texte original : "For designers, it involves a reconsideration of the static artefact and the actions that manipulate it. Conceptualisation shifts from objects to the envisioning of interacting components, systems and processes, which in turn generate new artefacts, with special properties"

de création à travers ses propres mécaniques en générant de nouveaux possibles, de nouvelles "affordances" et de nouvelles oppositions au concepteur. Ces dernières s'illustrent par le médium que l'on manipule et c'est là toute la spécificité de la programmation puisqu'elle est à la fois génératrice - en architecture - de spatialités et de morphologies, mais aussi de sa propre esthétique textuelle ou diagrammatique qui permet d'apprécier le processus de génération.

*«La différence fondamentale entre le code et la plupart des autres médias de conception c'est le caractère stratifié des retours. Le code permet de travailler simultanément sur la géométrie représentant une instance particulière de la conception et sur la représentation textuelle de la logique qui sous-tend cette conception. [...] le codage peut devenir une forme d'esquisse, bien qu'il fonctionne à travers des manipulations à la fois textuelles et géométriques. [...] La programmation orientée objet dans Processing et les arbres de données dans Grasshopper sont des structures élégantes, tant au niveau du calcul que de la visualisation de la structure de l'algorithme [et] ces structures peuvent être un moteur conceptuel pour la conception.»<sup>29</sup> (Cannaerts, 2016)*

## 2.5.2 Poïétique de l'outil, poïétique des ambiances

Lorsque l'on pose la question des ambiances en architecture, on constate une forte propension à mobiliser, fabriquer et questionner des outils ou des méthodes, que ce soit dans une démarche analytique, projective ou dans une combinaison de ces deux postures<sup>30</sup>. En effet, il apparaît que le rôle des outils et méthodes est primordial lorsqu'il s'agit d'ambiances puisqu'ils permettent de rendre tangible et manipulable une partie de ce qui fabrique la notion en proposant *"une démarche plus localisée, mettant au centre du propos le caractère situé des phénomènes observés"* (Grosjean & Thibaud, 2001) et en donnant ainsi des "accroches" à ces phénomènes parfois difficiles à "attraper" pour le concepteur.

La notion d'ambiance a pris au fil des années et des travaux sur le sujet des perspectives vastes et parfois divergentes. On se permet ici de donner une définition de ce que l'on entend par l' "ambiance" pour et en l'architecture en essayant à la

---

29. Traduit par l'auteur

30. Voir ici les multiples ouvrages ou rapports de recherche consacrés au développement ou au recueil de méthodes et outils pour analyser et/ou penser les ambiances : "L'espace urbain en méthode"(Grosjean & Thibaud, 2001), "L'identité sonore urbaine approche méthodologique croisée"(Amphoux, 2003), "Nouveaux regards sur l'habiter outils et méthodes"(De Villanova & Duarte, 2012), "représenter l'urbain : apports et méthodes"(Breux, Collin, & Gingras, 2014), "A l'écoute de l'environnement, répertoire des effets sonores"(Augoyard & Torgue, 1995), "Prototypes sonores architecturaux. Méthodologie pour un catalogue raisonné et des expérimentations constructives"(Chelkoff, 2003)

fois de résumer, mais aussi de recentrer sur les enjeux qui nous occupent dans ce travail.

Ce que nous pouvons en dire de manière "simple", c'est qu'elle est toujours là ; même lorsque des modalités sensibles sont supprimées ou diminuées, ces spécificités feront aussi ambiances. Intimement liée à l'espace qui la construit et la module, elle est aussi dépendante de tous les paramètres immatériels de l'environnement et même de nos propres états psychiques et cognitifs.

Jean François Augoyard dit d'elle qu'elle est la chose la plus facile à ressentir, mais la plus difficile à expliquer (Augoyard, 2007), et pour cause ; elle se construit à la fois du fond sonore d'une pièce, des émergences proches ou lointaines, des odeurs, de la lumière directe qui la traverse, mais aussi des reflets et des lumières artificielles qui teinte l'espace, des couleurs, des formes et des matérialités qui fabriquent des textures constituent des rapports d'échelles par rapport à notre propre corps. À tout cela s'ajoute alors notre état et celui des autres qui altèrent dans une direction nos perceptions et nos appréciations de celles-ci. La présence des autres, la solitude, les distances entre les êtres sur un plan physique ou affectif qui va transformer notre "lecture" du lieu. C'est tout cela qui se combine et s'articule pour fabriquer ce qui est de l'ordre de la perception individuelle et partagée de l'ambiance.

On notera ici que l'on préfère manipuler la notion d'ambiance au singulier plutôt qu'au pluriel de manière à souligner les coexistences qu'elle peut fabriquer et surtout à sortir d'une réflexion de juxtaposition des phénomènes qui semble aller à l'encontre de la notion de projet et des spécificités qui forgent la discipline architecturale.

*"Alors que l'architecte produit une Ambiance, nous lui proposons de mettre bout à bout des ambiances, l'une thermique, l'autre acoustique, etc." (Augoyard, 2004)-*

En effet, un environnement, lieu, espace ou milieu -selon la terminologie que l'on préfère utiliser- sera systématiquement situation d'ambiance. C'est par son existence propre que l'espace construit un environnement physique ; tangible et sensible tout d'abord, en proposant de nouveaux rapports physiques entre l'homme et son environnement, mais aussi et surtout en transformant les caractéristiques physique et sensible préexistantes. Par ailleurs, comme une couche supplémentaire, cet espace fabrique et transforme des pratiques, des usages et des comportements qui deviennent des caractéristiques du lieu. Il existe, de manière absolue, un rapport à l'homme, quelles que soient les caractéristiques de l'espace. Cette existence construit la première pierre de l'"ambiance" et nous permet de mieux comprendre son articulation complexe avec le processus de conception.

Comme on l'a dit, il n'est pas simplement question d'une addition de ces phénomènes pour faire ambiance ; mais il apparaît particulièrement délicat de parler d'une "ambiance architecturale" pour laquelle on aurait de fait du mal à faire correspondre une définition spécifique, universelle. La tendance est donc encore aujourd'hui et

malgré de nombreux travaux cherchant à proposer des pistes "transsensorielles"<sup>31</sup> à imaginer l'ambiance comme une accumulation ou une juxtaposition de "maîtrises sensorielles".

Cette digression a son importance ici puisqu'elle nous permet d'évaluer et de remettre en perspective la multiplicité des interrogations autour de l'outil dans le champ de recherche et de la conception des ambiances. En effet, on ne proposera pas ici de remettre totalement en cause l'étude sensorielle segmentée du projet d'architecture, notre choix étant porté sur un outil de manipulation et d'évaluation du sonore. Néanmoins, nous cherchons à proposer des pistes permettant de sortir de cette segmentation en mobilisant un autre sens que la vue dans un écosystème particulièrement teinté - que ce soit dans son utilisation et dans ses techniques - par le visuel.

De plus, il s'agit pour nous de remettre en question la notion de maîtrise, qui fait résonner dans sa définition et son étymologie l'idée de domination. Une façon d'exprimer un contrôle -pour se rassurer?- sur une situation et des phénomènes qui auraient plutôt tendance à nous échapper.

À contrepied de cette idée, l'ambiance, plutôt qu'un ensemble de phénomènes à maîtriser, s'apparente plutôt pour nous aux "conditions de possibilités" que va développer un espace. Concevoir l'ambiance, ou les ambiances, ne consiste en aucun cas à préfigurer ou proposer des caractéristiques tangibles, sensibles et sociales pour ce dernier, il s'agit au contraire de penser les différentes conditions de possibilités pour un ensemble de caractéristiques variables. La notion de variabilité est ici un point clef de notre démonstration de divergence avec le principe de maîtrise. En effet, les caractéristiques que l'on a citées plus haut vont être amenées à changer, et cela selon des temporalités ou des conditions elles aussi instables, et parfois non prédictibles :

- Selon les caractéristiques initiales du lieu (*climatiques, culturelles, sociales et spatiales*)
- Selon la temporalité à laquelle on va vivre l'espace (*le matin/le soir, en semaine/en week-end, au printemps/en été*)
- Selon les caractéristiques spécifiques du moment (*par temps chaud/froid, avec ou sans vent, pluie ou soleil, période de festivité, circonstances politiques et sociales, etc.*)

C'est en grande partie cette variabilité de l'environnement qui fabrique la notion d'ambiance, ce dernier ne bénéficiant que rarement d'un état stable, il est nécessaire de trouver un moyen de comprendre et d'identifier ce qui "fabrique" ses spécificités, ou encore ses appréciations -globales et/ou spécifiques, positives et/ou négatives- et dans quelle mesure ces caractéristiques qui font le lieu dans nos représentations et notre vécu sont partagées.

---

31. Voir Augoyard, "Vers une esthétique générale de l'ambiance" (Augoyard, 2004)

*"Elle [L'ambiance] postule un sensible enchâssé dans des territoires et des matérialités, des récits et des activités, des climats et des sociabilités, des attentes normatives et des affects d'arrière-plan. Se rendre attentif aux ambiances revient alors à faire preuve de sensibilité aux agencements complexes qui tissent le monde perceptible, au fond indistinct et aux lignes de force qui traversent une situation. D'une certaine manière, une ambiance constitue une composition de base, un format élémentaire à partir duquel le sensible ressortit à l'urbain et se prête à expérience"* (Thibaud, 2018)

### **Les outils numériques, mutation des méthodes et des « déterminations » impliquée par l'outil**

L'utilisation massive des outils numériques dans la conception architecturale implique des transformations dans les pratiques, mais aussi dans les "résultats" produits par ces mêmes outils. En effet, les productions se trouvent bien souvent "déterminées" par les libertés offertes par l'outil et on constate des orientations morphologiques associées à des facilités d'utilisation ou de "mise en forme digitale" (Pallasmaa & Schelstraete, 2013). Ainsi, tout comme les contraintes matérielles qui peuvent être de différents ordres (disponibilité des matériaux, limites structurelles, techniques d'assemblage ou de transport) ; les outils numériques peuvent avoir tendance à influencer les morphologies et donc les espaces projetés dès les premiers tracés, voir dès les premières étapes de réflexion. En effet, l'empêchement (ou la difficulté) technique à modéliser une forme disqualifie de fait cette dernière de manière subie, voire implicite quand l'utilisateur a l'habitude de ses outils et de leurs limites. Ces limites, également présentes avec les méthodes analogiques, semblent renforcées ici par des palettes d'outils préexistantes ou encore des "styles" morphologiques induits par les logiciels<sup>32</sup> à l'inverse donc d'un processus de création ou de transformation de l'objet technique comme développé par certains artistes ou architectes<sup>33</sup>.

### **La poïétique des ambiances et la place de l'outil dans leur « préhension »**

Cette détermination plus fortement associée à l'usage qu'à l'artefact en lui-même (*on peut très bien envisager l'utilisation de machines destinées à des chaînes de*

32. Voir les spécificités morphologiques ou techniques qui écrivent un style comme les Nurbs dans Rhino, le style "organique" des outils génératifs comme grasshopper, le style "maker" de certains procédés de fabrications ou logiciels dédiés comme Fusion360, etc.)

33. On pense ici à l'exemple célèbre de Frank Gehry qui manipule la métrologie et le bras robotique pour faire le lien entre les maquettes analogiques et le modèle numérique, ou encore à Soulages cité plus haut pour son détournement d'outils non conventionnels pour la réalisation de toiles

*production pour faire du prototypage par exemple*) implique de se poser la question spécifiquement pour la notion d'ambiance. En effet, si l'on s'intéresse à l'activité productrice à la genèse de l'acte de conception<sup>34</sup>, on peut s'interroger sur la part d'influence que va avoir l'outil sur la prise en compte de cette "matière" difficile à attraper et pourtant constitutive de notre manière de "saisir" les espaces.

L'interface numérique entre l'homme et l'objet fabrique une nouvelle forme de distance avec ce dernier en fabriquant une image, qui à notre insu et par nécessité de représenter, nous pousse à avoir une conscience imageante sur ce que l'on produit. C'est précisément ce rapport "à distance" que l'on essaye ici de transformer pour amener un nouveau rapport entre l'homme, l'outil, et l'objet en forçant à changer de référence de perception, mais aussi de position dans l'espace numérique.

Comme il est justement à l'interface entre l'objet et l'action, à la fois étymologiquement, mais aussi dans la réalité où il fait le lien entre l'action de créer et l'objet résultant de cette création, l'outil est particulièrement pertinent pour chercher à mobiliser les ambiances comme matériau de projet au-delà du seul prisme visuel.

## 2.6 L'esquisse

Qu'est-ce que l'esquisse, et pourquoi ce choix ? Nous allons chercher à explorer ses définitions et ses modalités au regard des autres outils d'évaluation et de conception des ambiances en architecture de façon à présenter son ou ses potentiels pour leur articulation avec la conception.

### 2.6.1 Entre esquisse et simulation

Le choix de l'esquisse comme base de travail, mais aussi comme objectif nous éloigne dans le même temps de la simulation et de ses attributs. Ces deux termes ne constituent en effet pas la même approche ni les mêmes temporalités dans le processus de conception. La première différence évidente, mais pourtant fondamentale entre esquisse et simulation se retrouve dans la temporalité du projet. Ainsi l'esquisse est plutôt identifiée comme intervenant lors des toutes premières phases là où la simulation sera plutôt employée pour tester - en simulant - des phénomènes, des situations ou même des événements spécifiques en aval d'un objet déjà déterminé par le projet.

---

34. Le terme poïétique peut être employé à différents niveaux de références. On pense notamment au travail de Hans Robert Jauss sur l'expérience esthétique où la poïétique correspond à l'activité productrice, associée à l'activité réceptrice mais aussi à la réflexion esthétique (Jauss, 2007), mais aussi plus directement aux enjeux d'ambiances qui consisterait à "considérer les manières dont les dispositifs spatiaux et matériels initient ou prédisposent certaines formes d'expérience composant avec les flux (lumière, chaleur, son, mouvement) et qui sont prégnantes et significatives dans l'accomplissement sensible de la vie quotidienne" (Chelkoff, 2009)

Bien que complémentaires, employées dans ces temporalités strictes, esquisse et simulation ne fournissent de fait pas les mêmes outils pour le concepteur. En effet, si l'on s'intéresse à la définition générale de l'esquisse, celle-ci est présentée comme un outil de préparation ; en amont, ou au démarrage de l'exercice de projet. Ce dernier, comme son nom l'indique, consiste à jeter en avant une idée à construire<sup>35</sup>. L'esquisse fait partie intégrante de cette dynamique puisqu'elle « sert de base » à la fois en début de projet, pour exprimer les premières idées, mais aussi tout au long du processus et cela jusqu'à la fin - et c'est une potentialité souvent mise de côté - comme un "étalon" de l'essence du projet et servant à évaluer si l'exécution est conforme à cette dernière, "née" ou élaborée durant les toutes premières phases d'esquisse.

Le rapport entre projet et esquisse n'existe alors pas par un rapport de causalité, mais bien par un rapport de « constitution » (dans le sens de « former un tout »). Ainsi, bien qu'elle intervienne dès les premiers stades de la conception, l'esquisse continue de former et informer le projet tout au long de son évolution et on la retrouve pour cela durant l'ensemble du processus.

Pour autant plus qu'une évolution, on préférera la penser ici comme un processus de « révolution » (en son sens tournant), qui suscite l'acte de conception. L'esquisse se fabrique autour des éléments et des événements du projet qui eux-mêmes la transforment. Elle est évolutive et pour devenir outil de conception (outil physique, outil technique, mais également outil psychique qui stimule l'imaginaire du concepteur), elle doit pouvoir permettre un certain nombre d'articulations entre ces différents éléments du projet (matériels, immatériels, et temporels). Pour cela, un des intérêts de l'esquisse en architecture, c'est justement d'être un outil simple, permettant d'embrasser l'ensemble des enjeux et des complexités que mobilise le projet d'architecture - parfois en simplifiant, en caricaturant, mais sans jamais vraiment en faire abstraction. C'est « un outil ludique et souple, capable de dépasser la contradiction sans la nier » (Minier & Billaudeau, 2014)

La distinction entre esquisse et simulation se trouve incarnée par cette notion de souplesse dont parlent Minier et Billaudeau. En effet la simulation cherche à s'approcher au plus près de la réalité des phénomènes et des émergences dans un modèle<sup>36</sup> ; pour cela, elle opère via une suite d'opérations (des calculs dans le modèle numérique) qui sont peu « malléables » lorsque l'on souhaite conserver une grande

---

35. Voir "Anthropologie du projet" : les premières traces en architecture seraient même spatiales avant d'être temporelles ; projet définissait les dispositifs littéralement jetés en avant comme les balcons d'une façade. Pour Boutinet le projet est "une anticipation opératoire partiellement déterminée" : il nécessite à la fois l'action et l'indécision sans que l'un ne l'emporte jamais sur l'autre. Ainsi ce caractère de ne pas être complètement déterminé génère quelque chose de "jamais totalement réalisé", qui va continuellement être à reprendre (Boutinet, 1990)

36. « *Les simulations nous permettent de mettre en scène les interactions réelles entre une population d'agents et d'observer toutes les "émergences" qui résultent de ces interactions* », (De Landa, 2011)

précision dans les résultats.

Cette faible capacité de résilience du processus de simulation l'empêche de pouvoir s'adapter à des variations même sensibles amenées par le concepteur.

Pour illustrer cette différence et mieux la contextualiser avec l'objet qui nous occupe ici : imaginons un outil d'auralisation et de simulation acoustique extrêmement précis et parfaitement juste (capable de « projeter » l'environnement sonore exact d'un modèle). Ce dernier, sur la base d'une configuration qu'on lui a donnée, délivrera un résultat - théoriquement - parfaitement juste, mais aussi parfaitement « fini ». Ainsi modifier le moindre détail dans ce modèle changera, parfois radicalement, le fruit de la simulation. L'ennui ici, c'est que ce type d'outil ne pourra jamais proposer une tendance, ou même un effet « global » qui pourrait être associé au modèle ; et donc rejoindre la complexité, mais aussi la flexibilité associée à la notion d'ambiance que nous avons présentée plus tôt.

Le tout -résultat proposé par la simulation- est alors difficilement dissociable, car on ne peut distinguer si l'effet entendu est associé à un détail ou à une grande tendance du modèle. De plus, il devient quasiment impossible à exploiter pour la conception architecturale puisqu'il ne renvoie jamais à une direction (un environnement sonore compris entre A et B ou un type d'effet qui peut prendre différentes amplitudes), mais toujours à un objet fini, associé à un modèle.

Enfin, nous retrouvons également cette différence dans les informations nécessaires à la constitution des "résultats" du processus d'évaluation. En effet, l'esquisse ne nécessite pas un ensemble exhaustif d'informations pour proposer un résultat là où l'outil de simulation, à vocation de précision, sera incapable de simuler des phénomènes et encore moins de renvoyer des effets sans connaître l'ensemble des paramètres qui définissent le projet.

Si l'on reprend l'outil de notre exemple précédent, il lui sera alors impossible de travailler (c'est-à-dire de répondre à son cahier des charges et donc de fournir un résultat précis et juste) sans une description exacte du modèle (matériaux, dimensionnements, types de sources, intensité des sources, etc.). À l'inverse, l'outil d'esquisse puisqu'il ne cherche pas à proposer un résultat unique et fini, mais plutôt à extraire des directions, sera en capacité de donner un retour sonore et des tendances malgré l'absence de certaines informations. De cette façon, la simulation ne peut être employée que quand tout -ou presque tout- est décidé dans le projet là où l'esquisse, par essence initiatrice et "en amont", peut-être employée plus facilement pendant la prise de décision.

On retrouve alors l'effet "étalon" énoncé plus tôt, car l'esquisse fabrique des "bornes" de changement : on esquisse des tendances qui nous permettent d'évaluer dans quelle mesure le projet va ensuite évoluer et sortir ou non des marqueurs initiaux que l'on avait esquissés. Ce caractère de l'esquisse est particulièrement indiqué pour les modalités complexes comme le sonore puisqu'il permet de resserrer les grandes lignes, voire même le "parti" du projet alors même que l'objet d'étude reste difficile à

maîtriser, tant il est interdépendant de tous les éléments du projet architectural.

### 2.6.2 L'esquisse, un instrument adaptatif?

Il s'agit ici de tisser un lien entre la notion d'esquisse et la notion d'instrument que nous avons abordée plus tôt. En effet, si l'esquisse trouve sa pertinence dans sa potentialité à créer des articulations entre les complexités et les enjeux du projet d'architecture ; l'instrument lui -notion plus générale- apparaît justement à l'articulation entre le sujet et l'objet à travers les schèmes d'utilisations associés à cette interaction. On pointe du doigt une question : l'esquisse peut-elle être considérée comme instrument du projet d'architecture ? Et si oui dans quelle mesure ?

Sans chercher à faire un rapprochement rapide qui assimilerait automatiquement l'esquisse à l'instrument de Rabardel<sup>37</sup>, nous pouvons néanmoins constater des similitudes de processus. En effet, l'esquisse comme nous l'avons vu n'est pas associée à un artefact particulier, mais plutôt à un stade (temporalité) ainsi qu'à un usage (objectif) spécifique. Elle n'existe pour autant pas sans artefact (matériel ou virtuel) ce qui l'a située à l'articulation entre des modes d'usages et des artefacts et en cela la rapproche de la notion d'instrument. Néanmoins, est absent d'une définition de l'esquisse le « schème d'utilisation », essence de l'instrument et de l'articulation Sujet/Objet que cherche à illustrer Rabardel. En effet, comme on l'a vu ces schèmes d'utilisation sont interdépendants du sujet et de l'artefact mobilisé ; ainsi l'architecte qui procèdera par une esquisse dessinée et l'architecte qui lui préférera une série d'esquisses en maquette fabriqueront des schèmes d'utilisation (et donc par définition des instruments) différents, et cela malgré un usage et une étape de projet similaire.

On ne peut donc pas directement faire l'association entre esquisse et instrument, mais l'on constate un lien fort entre ces deux notions qui s'illustre par des similitudes dans les processus de projet. Si l'on essaye ensuite d'interroger l'esquisse au regard de la notion d'adaptabilité que nous avons développée précédemment, il s'agit là aussi de poser une question : retrouve-t-on avec l'esquisse pour le projet d'architecture les caractéristiques d'un outil plutôt adaptatif ou plutôt automatisé ? La réponse ici est moins ambivalente, et nous allons regarder pourquoi et en quoi l'esquisse ne peut être qu'adaptative.

Tout d'abord, comme nous l'avons rappelé, il faut comprendre l'esquisse non pas comme un objet ou comme une phase chronologique du projet, mais bien comme un outil (c'est-à-dire comme une façon, ou un moyen) pour « faire naître » l'essence d'une idée. Cette définition nécessite de l'envisager comme une notion « fondamentale » du projet et donc, relativement à la définition que nous avons amenée de l'automatisme et de l'adaptabilité, nécessairement comme un processus adaptatif. En effet, les éléments en présence et les contraintes de conception qui vont initier

---

37. Voir "Entre l'instrument et l'artefact", section 2.3.1, page 47,

la pensée de projet sont nécessairement des variables de grande amplitude ; l'outil d'esquisse doit donc être en capacité d'absorber ces variations - ce qu'un outil dit « automatique » ne saurait pas faire.

Si l'on regarde par exemple une simulation d'apport solaire simple, cette dernière va requérir pour fonctionner des informations telles que la localisation, les masques lointains, les masques proches, la durée durant laquelle on souhaite réaliser cette simulation, etc. Ces données sont alors simulées dans le modèle (course du soleil/ rayons/ masques), mais la simulation ne changera pas ses modalités de travail : quelles que soient les données entrées (la localisation, les dates auxquelles on souhaite réaliser ces simulations, etc.) le processus de calcul va rester le même et seules les données d'entrée seront variables. Ce serait alors comme faire le même calcul en en changeant les chiffres.

À l'inverse, l'esquisse consiste plutôt en une approche que l'on appellera ici « adaptative » puisque les données vont directement influencer et construire l'outil. Ainsi, si l'on reprend l'exemple de l'ensoleillement et que l'on imagine une esquisse d'ensoleillement, celle-ci va nécessairement prendre en compte les mêmes données initiales, mais c'est l'ensemble unique de ces données (localisation, masques proches, masques lointains) qui constituera la façon dont se construit l'esquisse ; et donc son résultat. Ce dernier ne sera pas forcément exhaustif, ni même parfaitement juste, mais il constituera un nouvel outil utile pour poursuivre la conception selon l'angle et les propriétés spécifiques du projet en question. Si l'on change de contexte ou d'objectif, alors on peut retrouver des résultats parfaitement différents.

Pour se représenter plus pragmatiquement cette différenciation entre automatisme et adaptabilité à partir de données ; on peut prendre l'exemple de deux modes d'évaluation d'un nombre, l'un s'apparente à la suite de règles (modèle A) et l'autre à une suite de choix (modèle B). Dans chacun d'entre eux, le résultat d'une opération (règle ou choix) conditionnera le suivant :

Dans le modèle A, on part d'un nombre X : si X est supérieur à cinquante alors on le divise par deux et s'il est inférieur on le multiplie par deux. Ce résultat est ensuite multiplié par 4 et si le nouveau résultat est plus grand que cent cinquante, alors on lui retranche cent cinquante sinon on ne fait rien et l'on obtient le résultat final. Le résumé de cette opération est le suivant :

*Pour X*

$$\text{si } X > 50 \quad A = X/2$$

$$\text{si } X \leq 50 \quad A = X$$

$$\text{Puis } B = A * 4$$

$$\text{si } B > 150 \quad C = B - 150$$

$$\text{si } B \leq 150 \quad C = B$$

Dans le modèle B, on part toujours d'un nombre  $X$ , mais cette fois si  $X$  est supérieur à cinquante alors on choisit soit de le diviser par deux soit par quatre et s'il est inférieur on le multiplie soit par deux soit par quatre. Ce résultat est toujours multiplié par quatre, mais à la différence de l'opération précédente, on lui retranche cent cinquante seulement si l'issue est plus grande que cent cinquante et que l'on a fait le premier choix pour la première opération, si l'on a fait le deuxième choix, alors on lui retire 350. S'il était inférieur à cent cinquante, on ne change rien et l'on obtient le résultat final. Le résumé de cette opération doit se faire sous forme de diagramme puisque les résultats (multiples) dépendent des données initiales et du choix durant l'étape 2 :

Pour  $X$

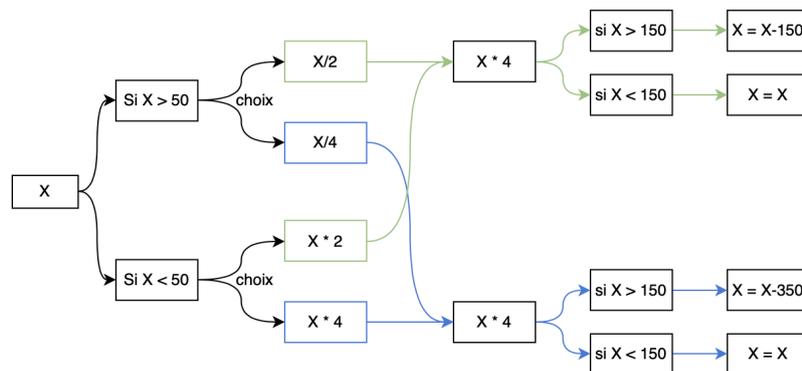


FIGURE 2.6 – Diagramme d'illustration d'un modèle adaptatif de calcul

### 2.6.3 L'esquisse comme outil de conception des ambiances

On retrouve les traces du mot « esquisse » sous la forme « esquicher » en 1567 dans la dédicace que Philibert Delorme fait à Catherine Royne de France en préface de son « Premier tome de l'architecture » (du texte Delorme, 1567). Cette forme, devenue aujourd'hui esquisser serait empruntée d'après le CNRTL<sup>38</sup> à l'italien « Schizzo » signifiant aujourd'hui ébauche. Schizzo qui signifiait autrefois « tache que fait un liquide qui gicle » viendrait lui-même du verbe « schihzzare » : jaillir, gicler.

Cette étymologie du verbe puis du terme « esquisse » permet un rapprochement intéressant avec l'idée de contingence dans la création et dans la conception. En effet, la tache initiée par un liquide n'est pas complètement due au hasard puisqu'elle ne peut être détachée du geste qui permet au liquide de gicler sur le papier. C'est la tache qui fige le premier jet, qui constitue une réalité tout en ayant pu en constituer une autre. Cette vision de l'esquisse n'est d'ailleurs pas complètement éloignée d'une seconde étymologie qui rapproche le mot esquisse du latin « schedium » signifiant « poème improvisé » (Robert, DL 2015, cop. 2015). Cette deuxième hypothèse étymologique rapprochant l'esquisse de l'improvisation rappelle le regard que peut porter l'architecte Franck Gherry sur ses dessins d'esquisse qu'il décrit comme du dessin « fugitif » dans lesquels l'architecte en vient à oublier sa main lorsqu'il dessine.

*« Je laisse glisser mon feutre. Je pense à ce que je suis en train de faire, mais d'une certaine manière j'oublie mes mains [...] Je deviens le voyeur de mes propres pensées à mesure qu'elles prennent forme, je me promène parmi elles » (van Bruggen, 1998)*

Quand Gehry parle de sa façon de dessiner sans ne plus penser à sa main, ou encore de dessin « non-intentionnel »<sup>39</sup>, on retrouve très bien la tache, résultat de l'arrivée non contrôlée de l'encre sur le papier, mais aussi le poème improvisé, sorte de composition littéraire sur le fil du temps, à la limite de l'écriture automatique. Coosje Van Bruggen fait d'ailleurs le rapprochement entre le travail de Roland Barthes et la méthode d'esquisse de Gehry.

On choisit de parler de contingence ici pour ne pas parler de hasard ou de chance puisque comme le dit Barthes, c'est toujours le corps qui compose, l'objectif étant simplement de faire aller la main plus vite que la tête.

---

38. Définition de « ESQUISSE » <https://www.cnrtl.fr/definition/esquisse>, Consultée en juillet 2019

39. "I'm always fascinated that i can draw these lines unintentionally" (van Bruggen, 1998)

## 2.6.4 Renouveau de l'esquisse à l'ère numérique (la place de l'outil de programmation)

Le plus souvent lorsqu'il est question d'esquisse numérique, l'objet en est un parallèle possible avec l'esquisse analogique. Comment les outils numériques permettraient-ils d'augmenter l'esquisse, ou au contraire pourquoi, ou comment ils sont incapables de proposer une alternative suffisante à cette dernière<sup>40</sup> ? Il est rarement question de ne pas chercher à imiter ou à remplacer l'esquisse analogique, mais plutôt de proposer de nouveaux "modes" d'esquisse, potentiellement annexes, complémentaires ou non, et pouvant fonctionner de concours avec le dessin analogique. De plus, ces réflexions interrogent souvent un angle visuel là où nous pensons qu'il est justement pertinent de mobiliser l'outil numérique pour explorer d'autres sphères du sensible, plus difficilement accessibles par le dessin. Ainsi, il s'agit d'exploiter les potentiels du numérique pour « esquisser » de l'ambiance autrement que par le médium visuel qui tend à orienter voire masquer certains enjeux du sensible.

Se pose alors la question de l'interface et des difficultés déjà énoncées qui apparaissent avec l'outil numérique. Celui-ci tend en effet à demander une précision d'information maximum pour chaque choix, chaque point ou chaque ligne qui doit exister spatialement et graphiquement de manière exacte dans le modèle. Contrairement au dessin que Gehry décrit comme « fugitif » quand il parle de ses esquisses, l'outil numérique lui, peut apparaître au premier abord comme précis, et même définitif. Notre proposition fait l'hypothèse d'un outil numérique capable de cette 'fugitivité' que le dessin à la main apporte, et ainsi capable de générer des effets de « contingences » nourrissant la créativité de l'architecte ; ou ce que Gehry appelle "oublier sa main" lorsqu'il dessine.

Lorsque l'on parle de conception assistée par ordinateur, un des plus gros challenge et notamment depuis l'arrivée de la conception paramétrique, a été d'intégrer les intentions de conceptions dans les modèles de calcul. Ces intentions sont en effet particulièrement difficiles à intégrer aux outils de calculs puisque difficiles à identifier et donc à traduire. Néanmoins, l'arrivée de certains logiciels de conception paramétriques<sup>41</sup> permettent de capter les intentions explicites du concepteur. Il est néanmoins important de pointer la nécessité d'une prise en main et surtout d'une appropriation de l'outil par le concepteur afin que ce dernier puisse exprimer sa "créativité", et donc de cette façon, que l'outil soit capable d'intégrer, ou plutôt de se laisser intégrer, les intentions du concepteur.

---

40. Voir le Séminaire de Conception Architecturale Numérique porté sur la question : "Rôle de l'esquisse architecturale dans le monde numérique" (*Journées SCAN (Séminaire de Conception Architecturale Numérique) : Rôle de l'esquisse architecturale dans le monde numérique*, 2005)

41. Dont certains comme Gan Loci présenté plus loin

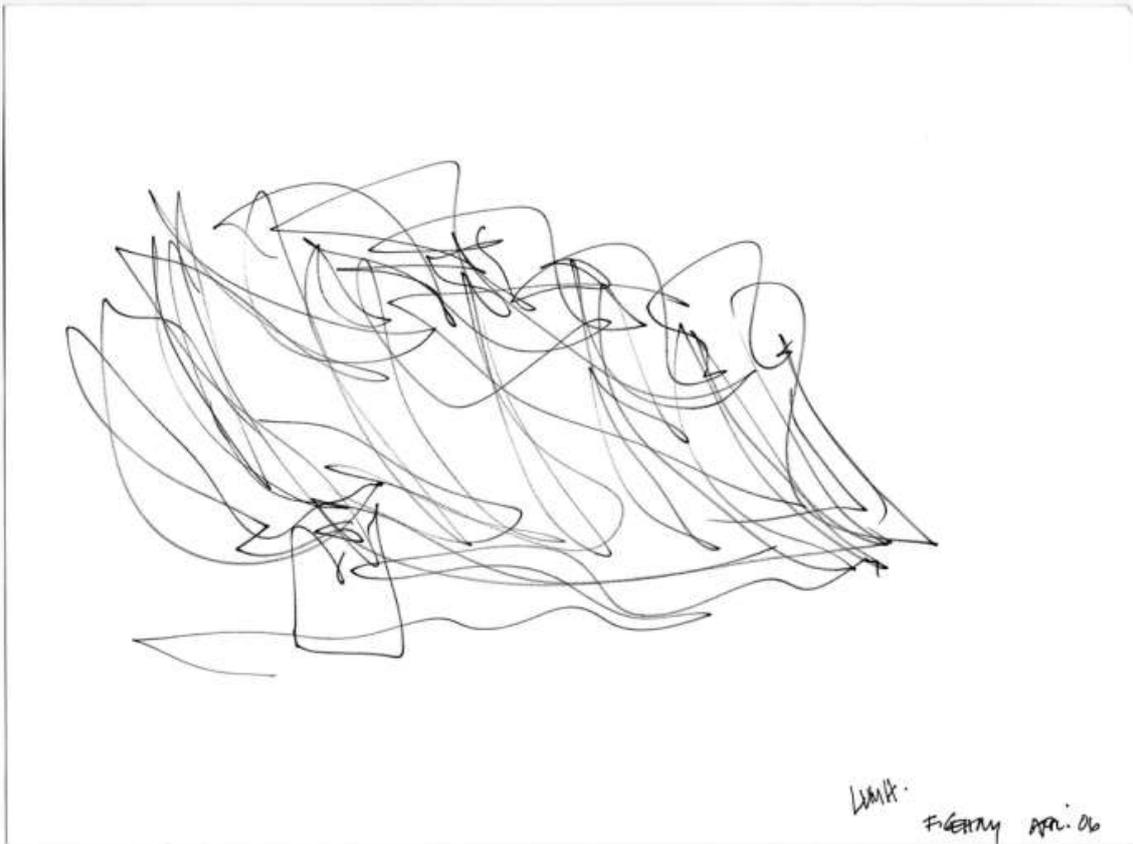


FIGURE 2.7 – Esquisse à main levée, Frank Gehry, Projet pour la fondation Louis Vuitton, *Source : fondationlouisvuitton.fr ; tous droits réservés*

*«L'utilisation créative d'un outil doit permettre au concepteur d'y intégrer sa propre logique de conception. Une telle personnalisation doit être reconnue comme un aspect essentiel de la créativité pour la conception. Un outil créatif est alors un outil qui facilite cette personnalisation et qui peut être utilisé au-delà de ce qui a été envisagé par le développeur initial de l'outil»<sup>42</sup> (Glynn & Sheil, 2011)*

### **Le paramétrisme et le code comme ressource d'esquisse**

On constate aujourd'hui un renouvellement des approches d'utilisation des outils numériques de conception avec un fort retour du "code" et des outils de scripts qui de fait, proposent de nouvelles modalités de conception. On dispose également d'un accès plus facile et plus "marqué" aux langages de programmation ce qui "[ouvre] la

---

42. Traduit par l'auteur

voie au 'scripting', au code, mais en filigrane aux sources logiques du computationnel [et] au domaine de la simulation générative" (Migayrou et al., 2018). Ce renouvellement ne constitue pas simplement un simple glissement des habitudes comme pourrait générer un changement de plateforme, ou un changement de marque; il implique une transformation profonde des modes de conception et de pensée du projet en mettant en avant le "processus", que l'on appelle aussi le script<sup>43</sup>. Ce *processus*, quelle que soit sa syntaxe<sup>44</sup>, fonctionne comme un "algorithme de projet" dans lequel on va construire des suites logiques, des règles et des événements, pour à la fin générer une morphologie.

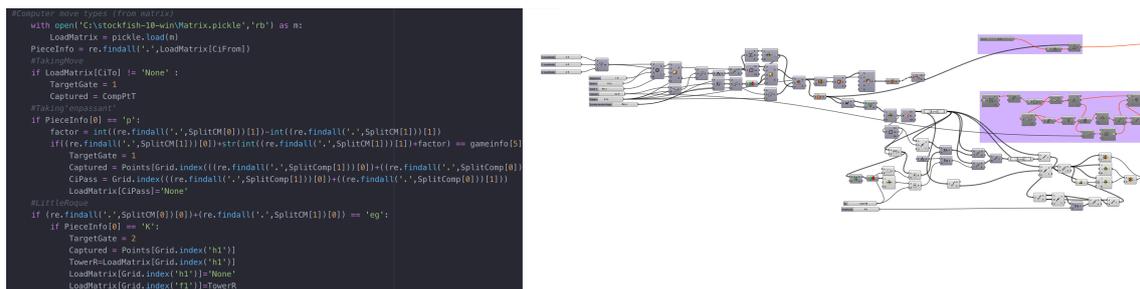


FIGURE 2.8 – Exemples de suites logiques dans des langages de programmation différents. Langage écrit (Python) et langage visuel (Grasshopper3D)

Ce que l'on appelle le "paramétrisme" (*ou parametricisme*) en architecture peut-être considéré comme un ensemble d'outils qui constitue des modes de concevoir, de dessiner et de faire avec les outils numériques. Faire de l'architecture avec des paramètres, c'est avant tout mobiliser des algorithmes choisis en se basant sur un ensemble de variables -*les paramètres*- qui permettent d' "affecter" un objet (théorique / métrologique / morphologie).

Cette logique algorithmique correspond à un double intérêt pour l'architecture. Elle permet tout d'abord d'atteindre les meilleures "performances" possibles en mobilisant des ressources logicielles permettant d'explorer de multiples possibilités : la multiplication des exigences contemporaines en termes de performances couplée aux avancées théoriques sur les usages augmente sans cesse le niveau de complexité à gérer dans le projet. Les techniques d'optimisation et de design paramétrique deviennent alors une réponse voire parfois une nécessité pour la conception.

Ces techniques d'optimisation passent notamment aujourd'hui par leur articulation avec des outils de génération. Ainsi on obtient une solution de conception qui intègre

43. Le script vient du nom des fichiers qu'exécute le langage de script. Les langages de script qualifient les langages simples, pouvant se libérer des commandes de bas niveau et ainsi proposer à l'utilisateur un système de syntaxe clair à des fins plus resserrées.

44. Quel que soit le langage de programmation employé, ou que l'on parle de programmation textuelle ou visuelle

les déterminations impliquées par les meilleures "performances" et les éléments invariants déterminés par le contexte ou les objectifs architecturaux.(Fialho Teixeira, 2014).

Bien que l'on puisse remettre en question aujourd'hui les performances des outils paramétriques au regard des capacités d'optimisation des outils "statistiques" dits d'intelligence artificielle<sup>45</sup> ; on peut dire que le paramétrisme a également renouvelé la réflexion sur les logiques itératives dans la conception architecturale. En effet, lorsqu'un grand nombre d'alternatives peuvent être proposées par un outil, puis analysées afin de fournir un "résultat" par rapport à des "objectifs" de projet, alors s'installe avec le processus comme un jeu d'aller-retour :

- *Je construis un processus constitué de variables, de modificateurs, d'invariants et d'objectifs*
- *J'obtiens un résultat en temps réel*
- *J'étudie et j'utilise ces résultats pour modifier les paramètres - voir une partie de la procédure qui constitue le script-*

La boucle d'itération peut ainsi continuer jusqu'à ce que le concepteur ait atteint le point d'équilibre / résultat qui lui convient. Aujourd'hui considéré comme un "style" qui "revendique une pertinence à toutes les échelles, de l'architecture et de la décoration intérieure à l'urbanisme à grande échelle" (Schumacher, 2009)<sup>46</sup>, le paramétrisme nous intéresse particulièrement comme une analogie contemporaine aux processus d'esquisses analogiques qui permettent eux aussi un aller-retour où le concepteur informe l'esquisse autant que l'esquisse en informe ce dernier par le retour visuel qu'elle produit.

Cette place très importante du visuel dans l'esquisse analogique est également un élément fort des outils paramétriques ; une grande partie d'entre eux propose ainsi un retour visuel qui permet au concepteur d'informer ou d'altérer son processus.

Notre proposition, à l'inverse d'une grande partie des outils développés aujourd'hui<sup>47</sup> pour l'évaluation des environnements et des contextes sensibles cherche sur cette base à introduire l'écoute comme une dimension active et immersive supplémentaire pour le concepteur ; on fait ainsi l'hypothèse de provoquer -par la modification de la catégorie sensible que nous renvoie le logiciel- une modification du rapport à la spatialité conçue qui tendrait vers une focalisation sur les ambiances.

---

45. Voir les travaux de Stanislas Chaillou sur intelligence artificielle en Architecture (Chaillou, 2020), ou plus largement les actes de la première conférence "Computational Design and Robotic Fabrication" sur le thème "Architectural Intelligence"(Yuan, Xie, Leach, Yao, & Wang, 2020)

46. Traduit par l'auteur

47. Voir chapitre 3, page 73,

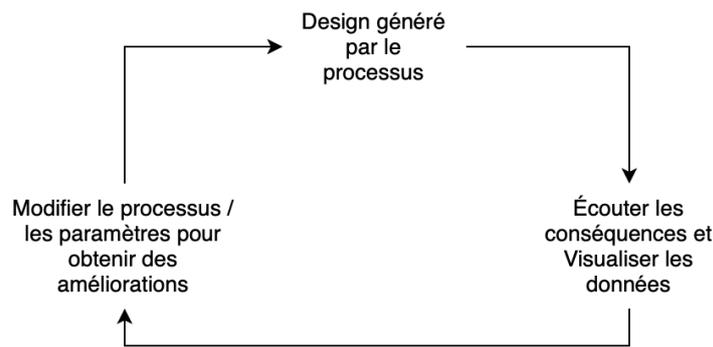


FIGURE 2.9 – Diagramme de notre volonté : une itération basée sur un retour auditif et l'action "écouter" comme base pour modifier le processus

Comme nous l'avons souligné, il est aujourd'hui particulièrement difficile pour les outils numériques d'intégrer clairement les intentions du concepteur et cette limite se trouve exacerbée par l'utilisation massive de paramètres numériques (mathématiques et géométriques) qui synthétisent difficilement ce qui pour le concepteur reste parfois une idée implicite ou difficile à définir avec un contour précis au moment de l'esquisse.

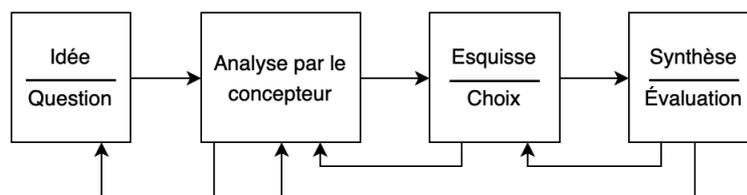


FIGURE 2.10 – Diagramme simplifié illustrant le processus intégré de conception de Knudstrup

La possibilité proposée par *EsquisSons* est donc de passer par un médium analogique (le son) et par une posture immersive (l'écoute) pour réintégrer cette part non manifeste des intentions de conception. Suite à ce retour sonore, le concepteur peut ensuite moduler les paramètres ou le processus et enfin les ré-évaluer à nouveau selon le même moyen.

En reprenant ici le processus de conception intégré tel qu'illustré par Mary-Ann Knudstrup (Knudstrup, 2004), on comprend que cette méthode qui a pour but de combiner "l'architecture, le design, les aspects fonctionnels, la consommation d'énergie, l'environnement intérieur, la technologie et la construction" utilise elle aussi la technique "itérative" permettant de réaliser des allers-retours entre les différentes phases de la conception.

On retrouve ici des éléments qui font écho aux diagrammes présentés précédemment et notamment dans le lien étroit qui s'opère entre le "système" de conception et l'analyse analogique, subjective que va réaliser le concepteur sur les résultats obtenus. Ici la phase de retour analogique (*qui est pour nous la phase d'écoute*) devient la porte d'entrée et de sortie unique pour poser et répondre aux questions et problèmes du projet.



# Chapitre 3

## Exemples d'outils et principes d'évaluations

Avant de présenter les méthodes qui nous ont permis de réaliser et d'analyser nos enquêtes et études, nous voulons présenter ici un cadrage théorique et pratique autour des outils existants afin de mieux introduire nos propositions. Il s'agit de présenter sous la forme d'exemples différents outils numériques susceptibles de permettre la prise en compte des ambiances physiques lors de la conception architecturale. On a choisi pour cela de diviser notre état de l'art en deux grandes parties, l'une dédiée aux outils intégrés (*plug-ins*) et l'autre aux outils fonctionnant de manière autonome (*standalone*)<sup>1</sup>.

### 3.1 Les critères de choix

#### 3.1.1 L'évaluation et la simulation des ambiances

Pour commencer ce répertoire, nous devons préciser ce que l'on entend par « l'évaluation » et par « la simulation » et à quels types d'outils cela peut correspondre. Dans le cas précis des ambiances, nous avons cherché à intégrer l'ensemble des outils permettant de penser la ou les ambiances en correspondance avec le projet d'architecture ou d'espace(s) dans un sens plus large.

#### Simulation ou évaluation ?

Pour simuler, il est nécessaire de disposer d'un modèle à tester dans lequel il s'agit de produire (de simuler) des événements. Pour évaluer, on va avoir besoin d'un objet

---

1. Un 'plug-in' est un programme qui dépend d'un autre pour fonctionner (il apporte ainsi des fonctionnalités supplémentaires à un programme hôte. Les programmes 'standalone' sont des logiciels autonomes, pouvant s'exécuter seuls et disposant de leurs propres fonctions.

qui sera ensuite apprécié selon des critères (ceux-ci pouvant être là aussi associés à des événements qui peuvent provenir de simulations). Si l'on prend l'exemple d'une architecture comme dans le travail qui nous occupe, celle-ci va constituer le modèle à évaluer. Soit directement s'il s'agit d'un espace construit, que l'on testera par une série de tests ; soit par des simulations d'évènements et de phénomènes si l'on cherche à évaluer une architecture projetée. Ainsi, l'évaluation et la simulation ne sont pas incompatibles, mais elles ne sont pas non plus nécessairement concordantes, l'une pouvant fonctionner sans l'autre et vice-versa.

La simulation n'est pas non plus l'exclusivité du monde « digital ». Elle est notamment largement utilisée lors d'expérimentation qui tente de simuler, par des modèles analogiques, des phénomènes spécifiques. Elle nous intéresse d'ailleurs particulièrement ici pour son approche fondamentale de l'étude des phénomènes. En effet comme nous l'avons dit, il s'agit d'une méthode qui cherche à produire des effets en « bouleversant » des modèles au travers d'évènements ou de phénomènes ; pour autant celle-ci n'a pas d'objectif direct d'expliquer ces derniers (les effets). C'est seulement par le retour (visuel, sonore, métrologique, etc.) qu'elle propose un « indice » de lecture libre d'interprétation selon les critères qui ont été fixés. Ainsi la simulation ne peut jamais, à elle seule, expliquer directement les causes ou les effets d'un phénomène. On peut par exemple chercher les effets d'un phénomène, mais aussi ses causes en mettant une méthode d'essai/erreur que l'on va tester par la simulation pour valider ou invalider des hypothèses.

C'est cette subtilité qui en fait un outil particulier et difficile à appréhender pour l'architecte. En effet, ce dernier cherche à répondre à des questions de faisabilité ou de qualité d'un édifice. La simulation comme simple « méthode » ne permet pas de répondre à ces questions, mais seulement de les tester. Il est donc nécessaire de s'en emparer -se l'approprier- pour pouvoir formuler un « résultat ». En ce sens, on retrouve ici la distinction faite par Rabardel et qui détermine l'instrument à partir d'une articulation entre un outil technique et un usage, d'une appropriation qui fabrique la perspective de résultats adaptés et adaptatifs.

### 3.1.2 Les critères "typologiques"

Dans ce chapitre nous ne proposons pas de recenser de manière exhaustive tous les outils existants pour évaluer certains facteurs d'ambiances et encore moins l'ensemble de ceux permettant d'aider à les intégrer au projet. Il s'agit d'essayer d'extraire de cet ensemble ceux qui peuvent faire valeur d'exemple dans le contexte qui nous occupe, c'est-à-dire, des outils numériques d'évaluation des ambiances dans la conception spatiale :

## Outils numériques

Pour commencer, on propose de se focaliser sur des outils "numériques" d'évaluation et de simulation des ambiances et donc d'exclure les méthodes « analogiques » d'évaluation. Il ne s'agit pas de les exclure des possibles pour la prise en compte des ambiances dans la conception architecturale, mais plutôt de spécialiser notre étude aux outils homologues afin d'éviter les grands écarts pratiques et théoriques.

## L'évaluation des ambiances

Les outils que nous avons sélectionnés ne s'inscrivent que dans une perspective d'évaluation, c'est-à-dire qui permettent d'apprécier la valeur<sup>2</sup> des ambiances d'un espace . « *évaluation : déterminer la valeur ou l'importance d'une chose* » (Robert, DL 2015, cop. 2015). Nous cherchons là aussi à spécifier un champ d'action qui correspond à celui de l'outil que nous voulons développer. Pour autant on pourra constater des hybridations de rôles puisque ces méthodes d'évaluation ont pour intérêt de servir directement de « matériau » de projet à l'architecte quand elles sont bien articulées au processus de conception.

### «Dans» la conception spatiale

Il est enfin important de spécifier notre focalisation sur la(les) phase(s) de conception. En effet nous nous intéresserons ici uniquement à des outils d'évaluation des ambiances pendant le processus de projet, et non pas à des outils d'évaluation à *posteriori*. Ce critère joue malgré tout avec une limite floue puisque nombre des outils d'évaluation -notamment métrologiques- interviennent après le processus de conception, mais avant la réalisation. Nous nous attacherons ainsi à préciser dans nos exemples dans quelle(s) phase(s) ceux-ci s'inscrivent.

### 3.1.3 Les critères techniques

De même que pour les objectifs et les typologies d'outil, nous avons également cherché à ne présenter que des outils qui s'inscrivent dans un "système technique" similaire à celui que nous envisageons de développer, c'est-à-dire permettant une démarche itérative dans la chronologie du projet de manière à laisser possibles les hybridations de fonction (possibilité de mobiliser l'outil aux différentes phases du processus de projet et à la fois comme instrument d'évaluation et comme matériau de conception).

Le contexte logiciel est ici un paramètre majeur pour permettre ce type de croisement puisqu'il doit offrir un « entour » favorable, notamment en permettant l'exploit-

---

2. Le terme valeur étant ici relatif aux critères choisis pour l'évaluer sans présupposer d'un modèle plus que d'un autre (quantité, qualité, etc.)

tation directe de la donnée d'évaluation comme un paramètre pour la conception. Cela peut se faire à travers une donnée numérique, métrologique ou géométrique informant le processus de génération de la forme ; mais aussi par exemple par le biais d'informations pouvant influencer un programme<sup>3</sup>, un cheminement, une articulation de fonctions, etc.

Cet environnement logiciel conditionne également les interfaces utilisateurs qui peuvent radicalement varier - tant dans leurs aspects visuels que dans les types de manipulations qui sont offertes au concepteur. Nous nous attacherons alors à rester dans des configurations permettant une articulation directe (et renouvelable) avec le projet<sup>4</sup>, mais aussi à des outils largement orientés vers la conception spatiale - c'est-à-dire plutôt destinés à être manipulés par des architectes que par des bureaux d'étude. Cette spécificité amène notamment une différenciation majeure -et dont nous avons déjà parlé ici - dans les résultats obtenus. Ceux-ci auront en effet plutôt tendance à « venir en aide » puisqu'il ils permettront d'appréhender une donnée et de la manipuler là ou les outils à vocation d'expertise scientifique et technique chercheront à rendre compte d'un résultat "au plus proche" de sa potentielle réalité ; et cela tant dans la forme du résultat que dans la manière de l'obtenir (on privilégiera notamment les évaluations simples à mettre en œuvre indépendamment de l'aboutissement du projet - qui se rapproche de notre idée de l'esquisse logicielle – aux outils de simulations lourds nécessitant un équipement logiciel et matériel important ainsi qu'un niveau de définition du projet très avancé).

*En préambule il est important de préciser que nous n'avons pas pu, pour des questions budgétaires et/ou temporelles investir et manipuler la totalité des outils que nous présenterons ici. Il s'agit pour certains cas d'une description et d'une analyse basée sur les caractéristiques et tutoriels disponibles<sup>5</sup>. Certains outils sont par ailleurs des "prototypes" qui ne sont pas aujourd'hui disponibles pour le grand public mais que nous avons fait le choix de présenter pour des raisons d'ordre épistémologique. Le domaine du logiciel est enfin un domaine particulièrement changeant et imprévisible ce qui nous conduit à exposer ces données non pas dans un objectif d'exhaustivité et d'actualité qui pourrait souffrir d'un effet de mode, mais pour leurs pertinences théoriques et pratiques face à nos interrogations et dans une dimension épistémologique qui se met en œuvre dans le projet.*

### 3.1.4 Analyse focalisée des outils sélectionnés

En conclusion de chaque présentation d'outil, nous avons souhaité présenter un "état des lieux" focalisé sur les questions qui nous occupent ici pour développer *Es-*

3. On entend ici programme au sens de programme architectural

4. On entend par là une possibilité d'être en relation directe avec les outils de modélisation, mais aussi de pouvoir réaliser les opérations d'évaluation de manières itératives ou sérielles afin d'informer le projet dans ce sens

5. référencés et/ou cités dans le document le cas échéant

*quisSons*. Nous proposons ainsi pour chaque outil d'évaluer cinq caractéristiques :

### **Le niveau d'appropriation**

On entend par niveau d'appropriation le degré auquel l'outil est capable de s'adapter, mais aussi d'être transformé par l'utilisateur. On regardera ici notamment comment les interfaces utilisateurs permettent ou non une flexibilité d'utilisation et éventuellement de détournement. Il est également intéressant de regarder la licence de l'outil pour en connaître ses potentiels de réutilisation ou de portage à d'autres applications. Nous n'avons pas choisi de faire entrer en ligne de compte la dimension économique ; mais le statut de la licence est néanmoins un élément majeur si l'on regarde les possibles offerts en termes d'appropriation utilisateur : un outil fermé offrant moins de potentiel de transformation qu'un outil sous licence à code "ouvert".

### **Le spectre sensible étudié**

Le spectre sensible correspond à l'objet d'étude des outils d'évaluation : thermique, lumineux, sonore, etc. Nous nous attachons ici à présenter quelles dimensions de l'environnement sont étudiées par l'outil, et de quelle manière elles renvoient ou impliquent les niveaux plus sensibles.

### **Le niveau d'accessibilité**

Le niveau d'accessibilité, délicat à évaluer, correspondra à la facilité d'utilisation de l'outil pour un utilisateur "non-expérimenté". On se basera ici principalement sur l'interface, les retours utilisateurs et les descriptions du développeur, mais aussi quand c'est le cas sur notre propre appréciation à l'usage.

### **L'interactivité avec les outils de CAO**

Cette catégorie regardera dans quelle mesure les outils présentés sont articulés à des outils de conception et de modélisation et cela afin de comprendre la facilité avec laquelle ils peuvent être intégrés au processus de projet.

### **Les moyens mis en œuvre pour aider à la prise en compte de la perception**

Cette dernière catégorie regardera les méthodes que chaque outil propose (s'il y en a) pour favoriser la prise en compte du "perceptif" au-delà des résultats "paramètres" qui correspondent à une évaluation quantifiée et quantifiable de l'environnement. On observera ainsi les modalités perceptives mobilisées ainsi que la part d'évaluation subjective proposée à l'utilisateur.

## 3.2 Les outils autonomes

Les outils autonomes constituent une catégorie difficile à employer lorsque l'on cherche une interactivité directe avec la conception ; mais certains, sans pouvoir intervenir dans toutes les phases du processus de projet, proposent néanmoins des pistes d'évaluation intéressantes, à condition de les impliquer dans la méthode de travail. Nous verrons par exemple que commencer à dessiner après avoir élaboré une évaluation sommaire permet, dans certains cas, une orientation des choix au regard de leurs impacts ambiantaux. Enfin, on constate que les outils intégrés, même s'ils peuvent être très efficaces, permettent souvent d'aller moins loin dans l'analyse et l'évaluation a posteriori. Pour notre objet d'étude -l'acoustique architecturale- il sera alors souvent nécessaire de mobiliser des outils puissants et capables d'évaluer en profondeur les caractéristiques des espaces. Ainsi, il existe peu d'exemples d'outils sous la forme de *plug-in*<sup>6</sup> directement associés aux outils de modélisation.

### 3.2.1 Isimpa

I-Simpa est un outil Open source de représentation graphique et d'interface utilisateur qui permet d'accueillir des modèles de calculs acoustiques (les modèles TCR<sup>7</sup> pour le calcul du temps de réverbération et SPPS<sup>8</sup> pour le lancé de particules sont intégrés par défaut dans l'outil) puis permet de visualiser la propagation du son dans un modèle 3D sur la base de ces calculs. On peut importer directement un modèle 3D dans le logiciel puis le qualifier, positionner des sources et des récepteurs et enfin visualiser les propagations.

Le logiciel est complètement autonome dans son utilisation et son installation et il dispose d'une interface utilisateur graphique ce qui facilite sa prise en main. La visualisation du modèle 3D et des résultats est également un atout de l'outil pour rendre intelligibles les simulations acoustiques. Néanmoins, la phase de simplification des géométries ou encore la phase des calculs sont plus complexes avec de multiples boîtes de dialogue et sous-menus à manipuler et à savoir utiliser. La nécessité d'importer dans le logiciel une géométrie 3D et de la post-traiter (remaillage, correction, simplification) avant l'évaluation rend difficile une interactivité fluide avec les outils

---

6. Module d'extension pour un logiciel

7. "Théorie Classique de la Réverbération" : Cette théorie permet d'exprimer la réverbération de manière simple (par la formule de sabine notamment) et simplifie le temps de réverbération en le considérant uniforme partout dans la salle (milieu homogène)

8. "Simulation de la Propagation des Particules Sonores" : le principe se base sur une approche géométrique (chaque particule est "projetée" d'un point A à un point B selon un temps T : quand elle rencontre un obstacle, elle peut être soit renvoyée, diffusée, transmise ou absorbée selon l'obstacle en question), et un modèle de propagation énergétique : « pondérée par l'importance de la diminution le long de la distance de propagation » ou probabiliste : « l'absorption atmosphérique est considérée comme la probabilité que la particule sonore disparaisse ou non du domaine de propagation selon une distance  $r$  » (Picaut & FORTIN, 2012)

de conception assistée par ordinateur. Enfin, les retours sont essentiellement quantitatifs et visuels ce qui n'incite pas à une prise en compte de la dimension "perçue" du son dans l'espace.

ISIMPA				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Très bon niveau d'appropriation ( <i>outil open source permettant d'importer sa propre géométrie, possibilité d'intégrer et de développer ses propres outils en Python, possibilité d'importer d'autres modèles de calculs acoustiques</i> )	Acoustique	Niveau d'accessibilité moyen ( <i>Outil facile à installer, visualisation en 3D; phase d'import et de simulation plus difficiles d'accès</i> )	Interactivité moyenne ( <i>Import de données géométriques depuis de nombreux formats, mais malgré tout détaché des outils de modélisations</i> )	Retours quantitatifs et visualisation des propagations

### 3.2.2 Acoubat

Acoubat est un logiciel payant qui a été développé par CYPE (*éditeur de logiciel*) et le CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*). Il propose par la simulation, d'évaluer les performances acoustiques à l'intérieur des bâtiments<sup>9</sup>. Pour cela il permet de tester l'isolement acoustique (aérien et solidien en intérieur, aérien avec l'extérieur), les temps de réverbération (et les surfaces équivalentes d'absorption minimum le cas échéant), et enfin le niveau des "bruits d'équipements" du bâtiment lui même.

Acoubat possède sa propre bibliothèque de matériaux et de produits et peut être directement relié à une maquette numérique à travers le système "Open BIM"<sup>10</sup>. Cette très grande précision dans la définition des matériaux et des produits utilisés pour la mise en œuvre permet au logiciel Acoubat une très grande "justesse" dans ses résultats. En effet, on constate que les évaluations proposées sont conformes aux normes françaises et européennes<sup>11</sup>. Cette grande précision consiste également en un frein dans l'utilisation de l'outil qui nécessite la définition très précise du modèle et se positionne donc comme un outil de "vérification" post-projet pour faire correspondre le futur édifice aux normes en vigueur. Le retour de l'outil prend la forme de valeurs

9. Nous n'avons pas pu tester Acoubat directement, mais nous avons pu arpenter la documentation et les tutoriels pour comprendre ses modalités de fonctionnement et ainsi évaluer les différents points qui nous intéressent ici

10. Développé par CYPE et qui est compatible avec le format de fichier IFC - Industry Foundation Classes et donc "inter-logiciel"

11. "AcouBAT by CYPE permet de réaliser la conception et le calcul de l'isolement et du conditionnement acoustique de n'importe quel type de bâtiment, conformément aux différentes normes prédéfinies" : <http://acoubatbim.cype.fr/resultatsverifications>, consulté le 10 juillet 2021

quantitatives sur les différents indicateurs réglementaires et permet de visualiser sur le modèle 3D, l'espace, ou l'élément que l'on interroge. Sa position dans le processus de projet, mais aussi son interface utilisateur en font plus un outil à destination des bureaux d'étude en acoustique qu'un vrai outil de conception architecturale.

ACOUBAT				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Faible d'appropriation ( <i>outil fermé et conçu pour ne pas être modifié, on peut éventuellement rajouter des modalités de calculs pour s'adapter à des normes, ou à des résultats différents</i> )	Acoustique	Niveau d'accessibilité moyen ( <i>Outil facile à installer et à utiliser quand la maquette BIM est finalisée ; difficile/impossible à employer en phase de conception</i> )	Bonne interactivité (pour le BIM) ( <i>Bonne interactivité avec les modèles BIM via le système OpenBIM et le format IFC</i> )	Résultats quantitatifs associés aux indicateurs de l'acoustique appliquée

### 3.2.3 Radiance

Radiance est un moteur mais aussi un programme autonome d'analyse et de visualisation des différents types d'éclairagements (naturels et/ou artificiels) pour la conception<sup>12</sup>. Radiance comme moteur d'analyse des éclairagements peut-être mobilisé par des logiciels tiers et exécuter ses tâches d'analyse en tâche de fond pour ensuite communiquer les résultats au logiciel tiers les mobilisant. Cette particularité que l'on retrouve dans d'autres outils/moteurs de calcul nous a particulièrement inspirée pour réaliser un outil d'auralisation dans rhino qui ne dispose pas lui-même des ressources pour manipuler et écouter les sons. Au-delà de sa capacité à analyser l'éclairage dans un modèle, radiance propose également un moteur de rendu qui permet de "rendre compte" par la visualisation des effets lumineux et donc de mobiliser la perception "subjective" de l'utilisateur dans l'analyse. En plus de proposer des modèles de calculs simples, radiance n'est pas non plus contraint par des morphologies types ni par des matérialités à évaluer. Cela laisse ainsi beaucoup de latitude au concepteur dans son utilisation de l'outil et dans l'analyse d'un espace ou d'un dispositif.

Le logiciel radiance est particulièrement réputé pour sa "justesse" d'analyse et d'évaluation de l'éclairage. Il est pour cela mobilisé à la fois par les architectes, les ingénieurs, ou encore des chercheurs qui s'intéressent aux enjeux d'éclairage que ce soit pour élaborer de nouveaux dispositifs techniques et architecturaux ou encore pour tester des espaces de manière plus large.

12. Voir <https://radiance-online.org/>, consulté le 4 avril 2020

Enfin l'interface de radiance quand il est utilisé en tant qu'outil autonome est relativement difficile d'accès puisqu'il utilise une interface en ligne de commande. Ainsi pour commencer à utiliser radiance, il faut déjà maîtriser ce type d'environnements numériques et les langages de programmation : "*Malheureusement, les nouveaux utilisateurs de Radiance sont confrontés à une courbe d'apprentissage difficile. Radiance est un programme en ligne de commande, et beaucoup de nouveaux utilisateurs n'ont aucune expérience préalable de cet environnement. Les utilisateurs doivent d'abord apprendre quelques commandes de base Unix ou Windows cmd ou PowerShell et des techniques de script en csh, sh, Python, Perl, Ruby, Windows PowerShell ou tout autre langage de script*"<sup>13</sup>.

RADIANCE				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Très bon niveau d'appropriation (outil polyvalent et versatile pouvant être manipulé pour lui-même ou en articulation avec d'autres)	Visuel et Thermique (éclairage)	Faible niveau d'accessibilité (Outil en ligne de commande, difficile à prendre en main, courbe d'apprentissage très raide pour ceux qui ne maîtrisent pas les langages de programmation)	Très bonne interactivité <i>Import de données géométriques et lumineuses depuis n'importe quel outil, liens avec des outils de modélisation et plug-in d'évaluation existants</i> <sup>14</sup>	Retours en données mais aussi en visuel sous la forme de rendus photo-réalistes et/ou aplats de couleurs qui favorisent la prise en compte et l'évaluation des résultats par la perception visuelle

### 3.2.4 EMRT-system

Le système EMRT est un moteur acoustique géométrique utilisant le lancer de rayons stochastiques et les ressources graphiques (GPU) pour en alléger le calcul. Il fonctionne comme une bibliothèque pour être plus facilement articulé aux logiciels de conception assistée par ordinateur. Les auteurs parlent d'ailleurs d'une volonté, sur le long terme, de "permettre une évaluation acoustique dès le début du processus de conception"<sup>15</sup> (Parigi, 2017). Une version *plug-in* est en cours de développement, mais n'est pas encore fonctionnelle. Les évaluations sont aujourd'hui réalisées à partir d'un transfert de données depuis les outils de conception vers la bibliothèque EMRT qui ensuite réalise les calculs. L'outil, de par sa dynamique d'interaction avec les outils de conception pour l'architecture, mais aussi la volonté de développement vers un *plug-in* plus facile d'accès et enfin ses capacités de calculs rapides se rapproche de notre perspective de travail. Néanmoins, le retour qu'il propose ne concerne que

13. Extrait du site <https://radiance-online.org/learning>, consulté le 10 mars 2021, traduit par l'auteur

14. Voir par exemple Honneybee dans la suite "Ladybug Tools" (84)

15. Traduit par l'auteur

des résultats d'acoustique appliquée et chiffrée ( $EDT^{16}$ ,  $RT60^{17}$ ,  $D50^{18}$ ); il n'offre donc aucune possibilité d'aide à la prise en compte de la perception ou du ressenti.

EMRT-SYSTEM				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Faible niveau d'appropriation (Outil issu d'un projet de recherche, non disponible pour le public)	Acoustique	Outil en phase de développement, difficile d'accès (Nécessite de manipuler des données textuelles extraites des morphologies pour communiquer avec l'outil)	Interactivité absente (en développement)	Retours en données mathématiques uniquement, pas de prise en compte de la perception

### 3.2.5 GAN Loci

Gan Loci est le résultat d'un projet de recherche mené par Kyle Steinfield qui propose de texturer des volumétries simples sur la base des contextes et des typologies de lieux. En entraînant des modèles statistiques informatiques (StyleGAN et Pix2Pix) avec des photos sélectionnées par villes et par contextes; l'outil est capable de réaliser des "esquisses photoréalistes" en se basant uniquement sur un ensemble de volumes simples et une localisation ou encore un "type" de contexte spatial.



FIGURE 3.1 – Illustration de 3 esquisses photo-réalistes obtenues avec GAN Loci pour 3 contextes différents; image by Kyle Steinfield; source : <http://blah.ksteinfe.com/>

16. EDT : "Early Decay Time" ou temps de décroissance initial après l'interruption d'une source, cet indicateur est fondamental car il reflète très bien le pouvoir de prolongation d'un son par l'espace

17. RT60 : "Reverberation Time 60" ou temps de réverbération, il est défini par le temps mis par le son pour décroître de 60 décibels après l'interruption d'une source

18. D50 : la "Définition" : ce facteur permet de calculer le degré de séparation en % entre un son et un autre

Gan Loci propose, en s'appuyant sur l'intelligence artificielle, un outil d'esquisse de l'environnement visuel. L'outil cherche alors *"à tirer parti des méthodes d'apprentissage machine pour tenter de coder le concept de "lieu" de Norberg-Schulz"*<sup>19</sup> (Steinfeld, 2019). Cette volonté nous intéresse particulièrement ici puisque le concept de lieu tel qu'il est énoncé par Norberg-Schulz peut se rapprocher sur quelques points de notre objet central, l'ambiance. Enfin, les possibilités offertes par l'intelligence artificielle permettent à l'outil d'intervenir très tôt dans le processus de conception et ainsi de fournir à l'architecte une esquisse visuelle qui rend compte, en ne se basant que sur une volumétrie simple, des conditions de possibilités du lieu et de son "ambiance". On retrouve ainsi des enjeux et des positionnements similaires entre cet outil d'esquisse visuelle et notre proposition d'esquisse sonore.

GAN LOCI				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Faible niveau d'appropriation (Outil issu d'un projet de recherche, pas disponible et avec une possibilité d'articulation avec les modelleurs encore à développer)	Visuel	Outil en phase de développement, mais très facile d'accès Nécessite une simple morphologie 3D pour fonctionner	Interractivité encore à développer	Retours visuels sans données quantitatives (l'outil mise ici complètement sur l'évaluation par le concepteur du retour visuel) qui permet une analyse subjective par l'architecte

### 3.3 Les outils « extensions » (ou plug-ins)

Les outils *plug-ins*, à l'inverse sont systématiquement associés à un logiciel « hôte » qui comme son nom l'indique se chargera d'accueillir les fonctionnalités du *plug-in* et de lui envoyer ou de recevoir de l'information, voire pour certains les deux en même temps. Ce type d'outil nous intéresse particulièrement puisqu'il permet de communiquer directement avec l'environnement du logiciel hôte et donc de minimiser l'impact du *plug-in* sur les méthodes et automatismes de conception. En contrepartie, puisqu'ils se trouvent directement associés à des outils de conception existants vient se poser la question de leur place au sein du processus. Cette place peut en effet être rapidement effacée par les mêmes automatismes que nous avons cités précédemment et qui ne prendront pas nécessairement en compte ou feront l'impasse sur les nouvelles possibilités offertes par le *plug-in*. Dans ce très court "morçeau choisi", beaucoup des *plug-ins* sont issus de l'environnement rhinoceros/grasshopper. En effet, il s'agit de notre environnement de travail ici et nous pouvons pour cela en extraire des informations pertinentes et en cohérences avec ce que nous développons. De plus, comme nous l'expliquerons cet écosystème logiciel n'a pas été

19. Traduit par l'auteur

choisi au hasard puisqu'il permet d'envisager les modes d'utilisation des outils de modélisation différemment des outils de CAD traditionnels<sup>20</sup>.

### 3.3.1 Ladybug tools

Ladybug tools est un outil d'analyse et de conception basé sur des critères environnementaux. Il prend la forme d'une collection de plug-in pour rhino/grasshopper qui construit un système complet d'évaluation en se connectant notamment à des moteurs de simulations validés par la communauté scientifique. Contrairement à beaucoup d'outils de ce type disponibles aujourd'hui, la suite LadybugTools propose d'articuler l'ensemble des sphères qu'englobe l'analyse dite "environnementale"<sup>21</sup> dans un seul "système logiciel" qui prend la forme d'une suite de plug-in pour rhino. La suite est aujourd'hui l'outil le plus utilisé et le plus plébiscité en ce qui concerne l'analyse environnementale sur cette plateforme<sup>22</sup>. La réussite constatée de l'outil tient à plusieurs causes. On peut déjà citer l'articulation avec des moteurs d'analyse déjà existants et éprouvés tels que Radiance<sup>23</sup>, Energyplus<sup>24</sup>, OpenStudio<sup>25</sup>, Therm/ Window<sup>26</sup> ou encore OpenFOAM<sup>27</sup>. Cette articulation fournit à l'utilisateur la possibilité de simulations variées et puissantes sans que ce dernier n'ait à manipuler et appréhender une multitude d'interfaces. De plus cela permet une intégration rapide et facile dans Rhino.

L'intégration est en effet le deuxième élément clef de cette suite d'outil qui propose de fonctionner directement à l'intérieur d'un d'un modeleur 3D via le couple rhino/-

20. Voir section 5.1.1, page 103,

21. On traduit ici le terme "Environmental analysis" qui correspond à l'analyse et à la simulation de phénomènes climatiques, météorologiques, solaires et énergétiques

22. Ladybugtools cumule presque 300 000 téléchargements en avril 2020 (troisième *plug-in* le plus téléchargé pour grasshopper sur food4rhino.com), il est également utilisé par de nombreuses universités, agences d'architecture et bureaux d'étude (GrimShaw, Foster & Partners, HENN, BIG, Perkins & Will, Atmoslab, etc.

23. Voir section 3.2.3, page 80,

24. EnergyPlus™ est un programme et un moteur de simulation énergétique qui permet de modéliser les consommations d'énergie dans le bâtiment : éclairage/ chauffage/ ventilation/ Consommation d'eau/ etc. <https://energyplus.net/>

25. OpenStudio est un projet Open Source développé par le département de l'énergie étasunien et qui cherche à vulgariser et à faciliter l'accès/l'utilisation de la modélisation énergétique avec EnergyPlus

26. Therm et Window sont deux outils développés au Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) et principalement à destination des fabricants d'éléments de construction et des ingénieurs. Therm est un outil d'analyse des transferts thermiques dans des éléments en deux dimensions <https://windows.lbl.gov/software/therm>; Window est un outil de calcul des performances thermiques des fenêtres (Gain de chaleur solaire, U et coefficients d'ombrage ou transmission visible) <https://windows.lbl.gov/software/window>

27. OpenFOAM est un logiciel libre développé par OpenCFD, il s'agit d'un moteur complexe permettant de simuler des flux de fluides, des réactions chimiques, des transferts de chaleur, des modèles acoustiques, ainsi que des modèles mécaniques et électromagnétiques . <https://www.openfoam.com/>

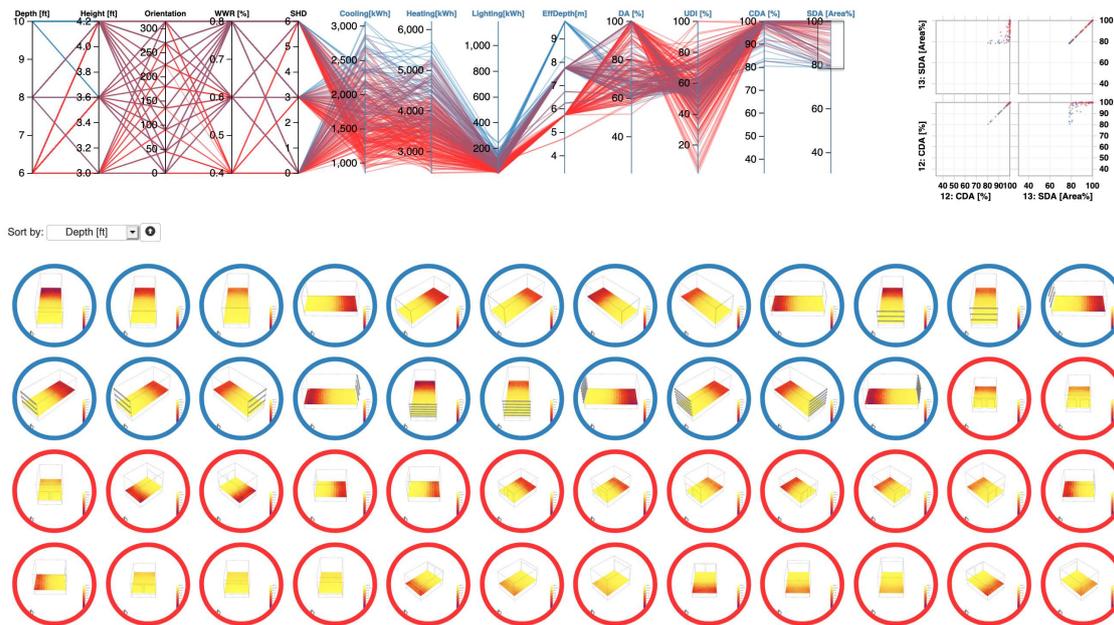


FIGURE 3.2 – Illustration en ligne des possibilités de variations sur un modèle simple avec Ladybug tools (capture d'écran) <https://tt-acm.github.io/DesignExplorer/>

grasshopper. Cela facilite là encore la prise en main utilisateur, mais permet surtout une meilleure utilisation des données issues des analyses environnementales. En effet, l'outil rend ainsi possible une articulation directe entre les moteurs de simulation et les outils de morphogénèse.

*"Ainsi, toute la conception, la simulation et la visualisation de la géométrie se font dans une seule interface"* [www.ladybug.tools](http://www.ladybug.tools)<sup>28</sup>

Cette imbrication forte entre les moteurs et l'outil de modélisation 3D rendue possible par l'utilisation de l'interface de grasshopper permet une manipulation rapide et flexible des différents paramètres complexes qui peuvent être utilisés pour l'analyse environnementale. Ainsi l'interface paramétrique associée à des retours visuels et/ou chiffrés facilite les variations, les essais et les optimisations des espaces et des morphologies relativement aux phénomènes climatiques, solaires et énergétiques.

28. traduit par l'auteur ; consulté en mars 2020

LADYBUG TOOLS				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Très bon niveau d'appropriation ( <i>Open source, construction par l'utilisateur des processus d'évaluation sous la forme de script</i> )	Analyse environnementale ( <i>Lumière, thermique et champs de vision</i> )	Outil très complet et complexe. Néanmoins des fonctions de bases très faciles à prendre en main le rendent relativement accessible pour les évaluations simples	Très bonne interactivité avec Grasshopper et Rhino ( <i>Possibilité d'intégrer les évaluations à des processus de morphogénèse</i> )	Certains retours visuels ( <i>Plans ou façades colorées, Roses de radiation, ombres, etc.</i> ) permettent une analyse visuelle des données d'évaluation au-delà des données chiffrées

### 3.3.2 Kangaroo et Karamba 3D

#### Kangaroo

Kangaroo a pendant plusieurs années été un plug-in pour grasshopper permettant de simuler de manière interactive des contraintes physiques pour aider à l'optimisation et la recherche de morphologies sous l'angle structurel. Aujourd'hui intégré de manière native aux nouvelles versions de Grasshopper (*depuis rhino 6, 2017*), il conserve un fonctionnement propre qui nous a poussé à le laisser dans la catégorie des *plug-ins*. Il s'agit d'un moteur physique de résolution par relaxation dynamique.

#### Karamba 3D

Karamba3D est un outil d'ingénierie structurelle entièrement intégré dans l'environnement de conception paramétrique de Grasshopper. Karamba fournit une analyse précise des archétypes structuraux à base de poutres, de fermes, de cadres, etc. Sa conception intégrée à grasshopper permet d'associer son moteur d'analyse structurelle à des modèles paramétriques ainsi qu'à des algorithmes génératifs d'optimisation pour tendre vers une transformation du modèle associée à des contraintes ou des enjeux structurels.

Là encore les points d'intérêt de ces outils portent sur leurs intégrations (*totale pour kangaroo qui a maintenant été absorbé dans le système logiciel rhinoceros/grasshopper, et sous la forme de plug-in pour Karamba*) avec les outils de modélisation et de conception. Ainsi, on ne mobilise pas d'autres outils ou d'autres écosystèmes pour interroger le modèle - ce qui pourrait rapporter une couche supplémentaire de complexité et de difficulté pour l'utilisateur- mais on peut surtout directement intégrer les résultats de l'évaluation à l'intérieur du processus ou script de conception. (*Voir "Le paramétrisme et le code comme ressource d'esquisse" section 2.6.4, page 67,* ). Comme on l'a vu, intégrer ces résultats au processus permet d'hybrider un peu plus l'évaluation et la conception et donc de limiter la dualité projet / validation dont nous avons parlé plus tôt.

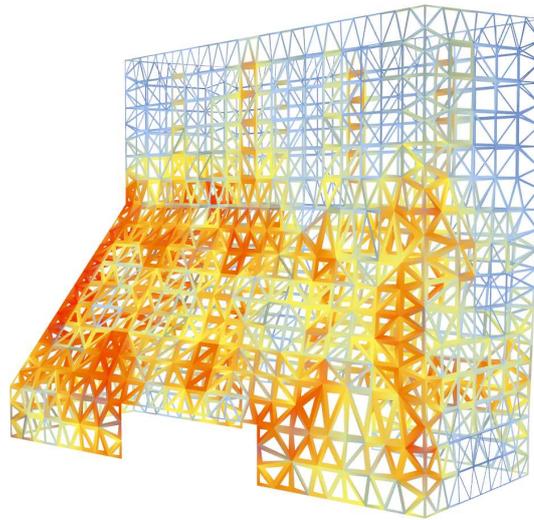


FIGURE 3.3 – Exemple de l'évaluation du moment de flexion d'un maillage 3D avec Karamba : Extrait des exemples 3D fournis par l'université de Virginie ; image : Karamba3D.com

KANGAROO				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Bon niveau d'appropriation ( <i>Construction par l'utilisateur des processus d'évaluation sous la forme de script</i> )	Moteur physique : haptique/cinétique	Outil complexe qui nécessite un temps d'apprentissage important	Très bonne interactivité ( <i>Directement intégré à Grasshopper : les évaluations sont donc partie prenante du processus de modélisation paramétrique</i> )	Retours des comportements dynamiques en visuel ( <i>faibles moyens pour aider à la prise en compte de la perception</i> )
KARAMBA 3D				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Niveau d'appropriation moyen ( <i>Logiciel fermé ; malgré une construction par l'utilisateur des processus d'évaluation ; ceux-ci restent très figés pour fonctionner ensemble</i> )	Moteur physique : haptique/cinétique	Outil très complexe qui nécessite un temps d'apprentissage + des connaissances	Bonne interactivité ( <i>Bonne articulation avec le processus de recherche/génération formelle dans Grasshopper ; mais peu de flexibilité dans les scripts</i> )	Retours des comportements dynamiques principalement sous la forme de données ( <i>pas d'intégration de la perception</i> )

### 3.3.3 Pachyderm Acoustic

Pachyderm acoustic est un outil qui existe à la fois sous la forme d'un plug-in Grasshopper et Rhinoceros. Il permet l'utilisation d'un ensemble d'algorithmes acoustiques afin de simuler dans un modèle 3D la propagation du son et ainsi en obtenir le temps de réverbération et la réponse impulsionnelle d'un espace. Pachyderm acoustic est développé depuis 12 ans par Arthur Van der Harten, architecte et acousticien et se base sur des modèles acoustiques poussés. Sa force est de donner accès par le moyen des interfaces simplifiées et accessibles de grasshopper et rhino à des méthodes conventionnelles de calculs acoustiques; ce qui permet leur emploi en dehors des cadres de l'acoustique appliquée et vise notamment une utilisation par les architectes. Cette ouverture des modélisations acoustiques aux mondes "créatifs" a permis des mobilisations multiples, pour de la visualisation en réalité virtuelle ou augmentée, pour des simulations dans des volumes complexes, ou encore pour la recherche d'itération associée à des algorithmes génétiques (van der Harten & Goodman, 2019).

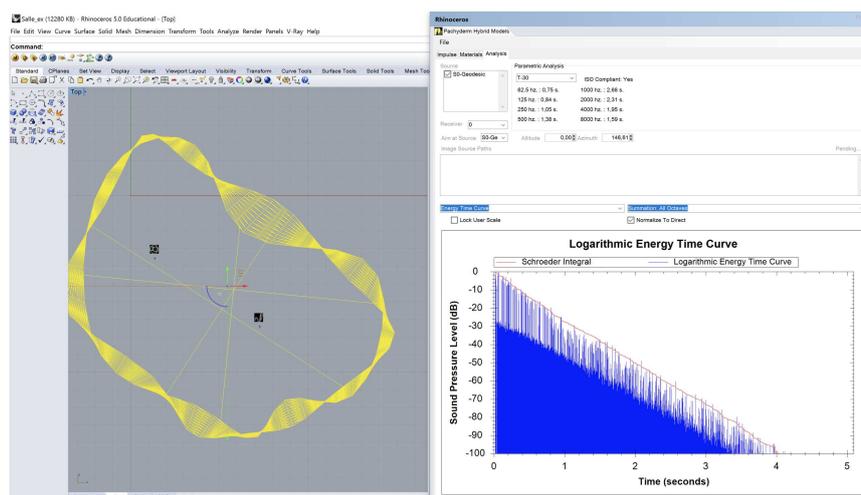


FIGURE 3.4 – Exemple d'un calcul de temps de réverbération dans une morphologie 3D avec Pachyderm

En tant que plug-in rhino/grasshopper, pachyderm acoustic possède évidemment la possibilité de s'articuler avec la conception, directement dans l'interface du modéleur ou bien dans un script grasshopper. Néanmoins, sa capacité à donner des résultats finis et des données chiffrées repose en grande partie sur les informations que l'on va donner au plug-in et notamment les caractéristiques choisies en termes de matériaux qui sont un facteur déterminant de l'acoustique finale d'un édifice. L'outil permet également une auralisation d'un son, mais cela n'est possible qu'après avoir fait un "rendu" de la salle qui correspond à la simulation de la réponse impulsionnelle et qui sera ensuite appliqué au son que l'on veut entendre "comme si" il était dans le

modèle. Il n'est ainsi pas possible de déplacer la source ou le point d'écoute ou encore de travailler en direct la morphologie pendant que l'on écoute. Enfin l'auralisation proposée est vraiment à destination de l'acoustique des salles et donc plutôt des milieux clos. Il est alors difficile d'obtenir un résultat cohérent dans un contexte ouvert et/ou urbain.

PACHYDERM ACOUSTIC				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Très bon niveau d'appropriation ( <i>Open source, construction par l'utilisateur des processus d'évaluation sous la forme de script</i> )	Etude acoustique ( <i>temps de réverbération, réponse impulsionnelle, simulation d'intensité</i> )	Outil complexe à la prise en main, mais relativement simple compte tenu des algorithmes proposés à l'utilisateur	Interactivité avec Grasshopper et Rhino, mais difficile à articuler avec le processus de conception ( <i>Nécessité de déclarer en détail les morphologies et les matériaux, on est plus dans un outil d'analyse que dans un outil de conception</i> )	Retours visuels et possibilité d'«auraliser» les résultats dans le contexte d'une situation simulée qui permet de se mettre en situation d'écoute ( <i>Il n'est néanmoins pas possible de faire varier les postures d'écoute ou les paramètres de la scène</i> )

### 3.3.4 Plug-ins pour REVIT

Une partie des fonctionnalités du logiciel d'analyse environnementale "Ecotect" racheté par Autodesk en 2008 a été traduite sous la forme d'extension pour le logiciel d'Autodesk "REVIT"<sup>29</sup>. Si on interroge plus précisément l'évaluation acoustique, il existait dans Ecotect une fonction pour projeter des particules et ainsi simuler le comportement d'un front d'ondes dans une morphologie en visualisant avec des couleurs différentes les particules selon leur "degré de réflexion" (première, deuxième, troisième, etc.), mais cette fonctionnalité ne semble pas avoir été transférée dans Revit aujourd'hui. Plusieurs tentatives sont néanmoins en cours pour articuler les outils de BIM avec des études acoustiques en profitant de la richesse des modèles qui permettent d'apporter des informations précises sur les morphologies et les matériaux. Nous pensons par exemple au travail de Kaveh Erfani, Sarah Mahabadi-pour, Mazdak Nik-Bakht et Joonhee Li qui ont développé un outil intégré à Revit qui permet l'analyse du temps de réverbération par la formule de Sabine (Lee & Nik-Bakht, 2021). On peut également citer l'outil COMSOL qui est un logiciel de "multi-simulation" (Structures / Fluides / Thermiques / Acoustiques / ainsi que d'autres outils plus spécifiques) et qui propose un système de lien direct avec revit. Ce dernier reste néanmoins plus orienté vers une utilisation en bureau d'études étant donné son prix élevé et la maîtrise technique nécessaire à son utilisation<sup>30</sup>

29. Revit est un logiciel BIM (Building Information Modeling) tourné vers la modélisation et la conception de bâtiment. Il a notamment la spécificité d'être un outil pouvant être utilisé par plusieurs métiers et donc de proposer la collaboration sur une même maquette numérique

30. Voir <https://www.comsol.com/livelink-for-revit>, consulté le 02 juin 2021

### 3.3.5 Odeon Sketchup

Odeon est un logiciel d'évaluation acoustique qui peut fonctionner de manière autonome, dans ce cas, il souffre d'un défaut principal de cette catégorie qui est la faible interactivité avec un eco-système logiciel de CAO. Mais Odeon peut également être utilisé comme plug-in dans le logiciel sketchup ce qui permet une meilleure fluidité et interactivité avec le processus de conception : Odeon pour sketchup agit comme une instance à l'intérieur de sketchup qui peut être ouverte par le moyen d'une simple icône ; le plug-in convertit alors la géométrie modélisée pour qu'elle soit compatible avec l'outil afin ensuite de commencer la simulation. Odeon permet d'évaluer les indicateurs principaux de l'acoustique architecturale (*les temps de réverbération, les "early decay time", les niveaux de pression acoustiques, ou encore les indicateurs d'intelligibilité grace au Speech Transmission Index notamment*) et de les visualiser soit sous une forme chiffrée soit sous une forme graphique. Odeon permet également de visualiser la propagation des sons sous forme de lancer de rayons, de particules, ou encore de dégradé de couleur dans les modèles 3D. Enfin, Odeon permet l'auralisation de certaines sources prédéfinies comme une voix ou un instrument placé dans le modèle. Cette auralisation nécessite par contre un temps de calcul qui ne permet pas de transformer le modèle ou de déplacer le point d'écoute et/ou la source "à la volée" pendant l'écoute. Le prix très élevé d'une licence Odeon reste néanmoins un frein important qui restreint en grande partie son utilisation aux bureaux d'études ayant un besoin et une utilisation intensive des simulations acoustiques.

Odeon - SU2Odeon				
Niveau d'appropriation	Spectre sensible	Niveau d'accessibilité	Interactivité avec les outils	Moyens pour aider à la prise en compte de la perception
Bon niveau d'appropriation ( <i>L'outil est propriétaire mais il permet beaucoup de choses et notamment de sortir des cadres prédéfinis -matériaux, modèle, format de fichier</i> )	Acoustique	Outil simple à utiliser malgré la densité des résultats et la complexité de certaines étapes	Bonne interactivité avec sketchup ( <i>procédure plus lourde pour l'itération avec d'autres outils de CAO</i> )	Retours visuels et possibilité d'«auraliser» les résultats dans le contexte d'une situation simulée qui permet de se mettre en situation d'écoute ( <i>Il n'est néanmoins pas possible de faire varier les postures d'écoute ou les paramètres de la scène</i> )

## 3.4 Quelles ressources pour EsquisSons ?

La série d'outils que nous avons sélectionnés ici avait pour objectif de présenter les méthodes et les possibles de l'outil numérique pour l'évaluation en architecture. Nous pouvons d'abord conclure qu'aucun outil ne répond complètement à l'ensemble

des critères que nous avons identifiés et définis dans une perspective pour l'architecte, mais que chacun d'entre eux apporte une ou plusieurs pistes de travail pour y parvenir. On cherchera ainsi à penser un outil qui autorise une bonne appropriation par l'utilisateur avec la possibilité d'un réemploi, voir d'un détournement et cela pour permettre des utilisations dans d'autres cadres logiciels ou avec d'autres objectifs théoriques et pratiques. *EsquisSons* devra à ce titre être proposé en "open source" afin de laisser ouvert son réemploi, mais il devra également pouvoir laisser le maximum de liberté à l'utilisateur pour construire son environnement de travail dans l'outil lui-même. Le niveau d'accessibilité recherché devra être le plus facile possible malgré un objet d'étude parfois complexe. Pour cela, on s'inspire notamment du travail mené autour de "*Ladybug Tools*" et qui articule l'outil autour de "fonctions de base" et d'exemples simples permettant de rentrer en matière rapidement pour observer les évaluations de l'outil. Nous devons également faire le choix de ne pas proposer une trop grande diversité de fonctions au risque de perdre cette accessibilité et cette rapidité dans l'utilisation. Nous chercherons également une interactivité avec les outils la plus large possible et à cet égard on fait le choix d'un outil "plug-in" qui sera directement intégré à l'outil de conception assistée par ordinateur. Pour des raisons de temps, d'affinité à certains outils, mais aussi de cohérence dans les fonctions et usages de l'outil "hôte", nous ferons le choix de ne développer *EsquisSons* que pour le logiciel Rhinoceros, mais il pourrait être envisagé ensuite de l'exporter à d'autres outils compte tenu du bon niveau d'appropriation qui est visé. Notre principal objectif est ici de pouvoir fournir un retour différent du visuel à l'utilisateur ; et nous voulons faire cela grâce à l'écoute qui pourrait aider à inclure plus en amont, mais aussi plus systématiquement, les enjeux de perception situés pour le projet d'architecture.

Sur des enjeux plus spécifiquement acoustiques, on a vu que beaucoup d'outils proposent des données chiffrées comme résultat. Par ailleurs, seuls des modules d'auralisation après calcul (et donc en différé) proposent l'écoute comme moyen d'évaluation. Cela implique un temps de calcul et donc une décorrélation potentielle avec le processus de projet. De plus les outils proposent souvent un haut niveau de "précision" à travers un objectif affiché d'exactitude dans les calculs (Parigi, 2017). Nous ne chercherons pas à nous focaliser sur ce niveau de définition (souvent à visée normative) et qui consisterait à développer un outil supplémentaire de calculs acoustiques. À l'inverse, *EsquisSons* se positionnera plutôt comme le projet GAN Loci qui ne s'efforce pas à donner un retour objectivable et quantifiable, mais qui cherche plutôt à proposer au concepteur un retour "percevable", impliquant une analyse subjective par celui qui dessine.

Ces éléments principaux que l'on a pu extraire d'une observation volontairement ciblée de certains outils d'évaluation nous permettent de préfigurer la "colonne vertébrale" de l'outil qui sera développé avec comme objectifs les critères typologiques et techniques que nous avons proposés en amont.



# Chapitre 4

## Méthode et terrains

Ce chapitre s'attachera à présenter les différentes méthodes que nous avons pu mobiliser et élaborer pour tester nos hypothèses. La première et principale reprend la méthode de l'« enquête » que nous empruntons pour partie à l'anthropologie et qui va nous permettre d'étudier (puis d'analyser) les différents ateliers pédagogiques que nous avons pu mener. Nous détaillerons ensuite notre deuxième méthode, parallèle à la première et plus exploratoire, qui cherche à considérer le développement et l'élaboration de l'outil comme un processus à étudier et donc comme une part entière de notre corpus de recherche permettant de tester nos hypothèses.

### 4.1 Élaboration des méthodes

#### 4.1.1 Les critères

Il est ici indispensable de penser la méthode en articulation avec la question de départ et nous proposons de reprendre ici les différents niveaux d'interrogation afin de dégager des critères permettant d'y répondre. Travailler avec des niveaux de questionnements différents -bien que fortement imbriqués- nous impose de fait de trouver des critères adaptés à chacun de ces derniers.

#### **Ambiance et conception architecturale, la question du son**

Tout d'abord, nous posons la question d'une prise en compte des ambiances dans la conception architecturale en cherchant à renouveler l'hypothèse du son comme "incitateur", ou "aidant" à cette prise en compte dans la mesure où cette dimension implique des considérations physiques, mais aussi des liens directs avec les usages sensibles des configurations spatiales. En parallèle de cette question viennent les outils numériques de conception assistée par ordinateur, et notamment les outils de programmation visuels permettant le dessin sur la base de processus et d'algorithmes

qui pourraient constituer un deuxième potentiel à la conception ambientale. Ces deux hypothèses vont ainsi nous servir de base pour l'élaboration de notre méthode.

La problématique d'une conception avec les sons n'est pas nouvelle, mais c'est ce renouvellement par un outil d'esquisse de l'ambiance sonore que nous souhaitons tester. Nous avons pour cela choisi de fonctionner par couches successives d'analyse de l'outil et de ses emplois. Ces couches prennent différentes formes qui sont regroupées ici sous deux axes structurants. Le premier englobe toutes les dimensions "techniques" qui pourront rentrer en jeu dans l'utilisation d'un outil comme *EsquisSons*. Le deuxième s'attachera plutôt aux questions "fondamentales" qui entourent l'outil de par son impact sur la conception.

Plus précisément, on cherche à savoir si l'outil *EsquisSons* « fonctionne », c'est-à-dire, s'il peut servir à l'architecte pour concevoir et penser -en partie- la question des ambiances au sein du projet et du processus de conception. Nous allons pour cela isoler une série de critères nous permettant d'en juger. Il est évident que ces critères vont être fortement dépendants de ce que l'on entend par « fonctionner », que ce soit techniquement ou fondamentalement. Comme nous l'avons présenté plus tôt, nous n'avons pas pour objectif de réaliser un outil d'évaluation quantitative d'acoustique simulée et nous souhaitons au contraire introduire le son comme matériau de conception à écouter et à vivre dans sa complexité. Néanmoins, le développement d'un outil numérique, qui plus est acoustique, nécessite une prise en compte de certaines réalités non seulement physiques, mais aussi d'usage et d'interface qui correspondent à des enjeux très techniques.

Ainsi, hybrider ces deux problématiques du technique et du sensible semble difficile à tester puis à évaluer de manière objective et le choix de ce découpage provient de cette difficulté à extraire des quantifiables qui regrouperait systématiquement les deux axes (technique et sensible). Pour autant l'enjeu restera ici de ne pas complètement séparer ces deux dimensions du même outil de manière à conserver un regard cohérent sur ce qui fait le sens de ce travail de développement.

### Fonctionner "techniquement"

Fonctionner peut être considéré en son sens le plus pragmatique comme « accomplir une fonction » (Robert, DL 2015, cop. 2015) et il est pertinent de poser ici des questions d'ordre technique : «*est que le logiciel fonctionne correctement ?*», de facilité d'usage : «*est-il commode ?*», «*est-il simple à appréhender, intuitif ?*» et enfin de fidélité ou d'exactitude, c'est-à-dire «*ce que j'entends correspond-il avec ce que j'entendrais dans la même situation si elle était réelle ?*» ou encore «*perçoit-on de manière cohérente l'environnement sonore que l'on dessine ?*».

Ainsi, ces critères de fonctionnement techniques et pratiques seront évalués directement par l'utilisation et les productions de l'outil dans le cadre des ateliers ; mais aussi par les retours de la communauté d'utilisateurs.

## Fonctionner "fondamentalement"

Le deuxième sens que nous donnons au terme « fonctionner » est plus proche de notre question de départ, c'est-à-dire «*est-il capable d'aider à la prise en compte du son dans la conception architecturale ?*». On va donc pour cela évaluer des enjeux didactiques : «*comment l'outil vise, incite ou permet-il de réfléchir les enjeux liés au sonore dans l'espace ?*». On va également s'intéresser à l'articulation avec le travail de projet : «*est-il plus facile avec EsquisSons d'intégrer le son dans le projet d'architecture ?*» Pour cela on cherchera des critères d'ordre comparatif - avec et sans l'outil, là aussi par retour d'utilisateur mais également par analyse des résultats et rendus réalisés avec l'outil.

Par ces deux "angles", on pourra également regarder et tester le potentiel éventuel des nouvelles techniques de conception assistée par ordinateur pour la prise en compte des ambiances à travers le développement de notre outil et l'évaluation de son fonctionnement.

### 4.1.2 Les matériaux

Sur la base de ces critères larges, nous avons alors décidé de retenir plusieurs méthodes afin de pouvoir tester et confronter ces dernières. Ainsi éprouvées, certaines ont pu être abandonnées ou transformées au fil du travail au regard de leur non-pertinence ou des difficultés rencontrées dans leur mise en œuvre. Cette dimension "hétérogène" et multiple des expériences nous apparaît importante compte tenu de l'objet testé, puisqu'elle rend également compte du parcours exploratoire qui a fabriqué la recherche.

#### Les ateliers - deuxième corpus

La méthode principale que nous avons voulu mettre en œuvre dans ce travail et qui articule tous ces critères, c'est la méthode de l' « atelier ». Il s'agit de moments dédiés à la conception d'espace ou de dispositifs pour lesquels nous avons voulu placer *EsquisSons* et ses possibilités au centre. Cette méthode par le projet permettra à la fois d'évaluer le fonctionnement "technique" de l'outil -selon les facilités d'usage, les éventuels problèmes rencontrés ou encore la justesse des esquisses réalisées- mais aussi son fonctionnement "fondamental" à travers le recueil d'expériences avec l'outil et/ou de schèmes d'utilisation. Ces ateliers fabriqueront également des résultats liés aux différentes productions des participants que nous pourrons ensuite analyser au regard des critères exposés précédemment.

Au fil des différents ateliers (pensés autour du son et de la conception spatiale), les cadres pédagogiques, mais aussi que les profils des participants ont pu changer. On retrouve ainsi principalement des étudiants en architecture et/ou en urbanisme, mais aussi certains professionnels de l'espace (*architectes, urbanistes, paysagistes*). De

manière plus rare, nous avons également pu accueillir des professionnels ou des étudiants provenant d'autres disciplines (*arts, sciences humaines, journalisme, sciences physiques*)

Les ateliers ont été répartis sur toute la durée de ce travail afin d'avoir un regard chronologique et donc un recul sur cette méthode de développement « itératif » afin de l'évaluer elle aussi comme un moyen de développement de notre outil.

Ces ateliers ont été consignés sous la forme de carnet de terrains, mais aussi de photos, de vidéo et d'enregistrement qui nous permettent d'effectuer une analyse *à posteriori* de l'observation effectuée sur le moment. Croiser les supports nous a également permis d'appréhender la totalité de l'expérience pour en extraire les informations pertinentes relatives à l'outil, son utilisation et son impact sur les productions. Enfin ces dernières joueront le rôle de synthèse dans notre étude de chaque atelier à travers une analyse croisée multi-critères.

Chaque atelier a été ponctué par un questionnaire proposé aux participants. L'objectif a été de pouvoir extraire des résultats plus directs sur les appréciations, mais aussi sur les ouvertures et envies qu'a pu générer l'outil dans leurs pratiques futures (*qu'ils viennent d'une discipline proche des enjeux de la conception spatiale ou non*).

### **Les expériences impliquées - troisième corpus**

La spécificité itérative et évolutive de ce travail a nécessité une réflexion sur une diversité de méthodes afin de s'adapter et d'évoluer avec le temps. C'est ainsi qu'au fil de cette recherche, notre travail et les conclusions de plusieurs expériences nous ont conduits à ne pas poursuivre certaines méthodes. Néanmoins, il nous a semblé judicieux de regrouper une partie d'entre elles ensemble - celles notamment qui sont utilisables car menées dans des conditions et des résultats suffisamment exploitables et reproductibles - derrière ce que l'on a appelé les "expériences impliquées". Il s'agit en effet ici d'interroger l'outil et la conception des ambiances à travers d'autres objets méthodologiques que l'atelier et ainsi, de regrouper d'autres expériences réalisées avec l'outil. Variées, elles consistent néanmoins toujours dans un protocole qui implique l'écoute et c'est pour cette raison que nous les avons nommées "expériences impliquées". Celles-ci nous permettent d'aborder à la fois son potentiel de diffusion/représentation comme avec un parcours d'écoute, ou encore son utilisation dans le cadre d'un projet réel. Il s'agit principalement avec ces expériences impliquées d'analyser les réactions/les discours associés à un objet (architectural/sonore/ambiental/technique). On cherchera ainsi à dégager des catégories de perception (ambientales et spatiales), que ce soit à travers des parcours, les phases d'un projet opérationnel, ou encore une installation immersive par exemple. Cette catégorie permettra notamment de tester l'outil dans sa justesse mais aussi d'interroger la notion de jugement dans l'utilisation et la conception avec les sons qui s'avère beaucoup moins présente dans le cadre des expériences pédagogiques.

## Le développement de l'outil - premier corpus

Le premier matériau que nous présenterons, c'est l'outil lui-même qui, bien que résultat, prend également une place importante dans la partie corpus de notre travail. En effet, son développement ainsi que les questions et enjeux qui s'articulent autour de ce dernier font partie intégrante de notre objet d'analyse et de nos hypothèses : "*Comment développer et faire fonctionner un outil numérique orienté vers l'évaluation et la conception des conditions ambiantales de l'espace ?*" et "*Quels en sont les vecteurs ou les freins*" seront notamment les deux questions principales que ce corpus va permettre de tester<sup>1</sup>. Pour ce faire, nous proposons de regarder le développement de l'outil de manière chronologique pour en extraire les moments et évolutions, et ainsi comprendre les tenants et les aboutissants du développement logiciel et de sa didactique pour la conception architecturale et ambiante. Enfin, nous regarderons l'outil résultat qui propose des fonctionnalités et des opportunités d'action pour la conception que nous tenterons d'exposer notamment à travers un regard analytique. L'idée est alors de présenter les fonctions et options sous la forme d'un "vocabulaire de l'outil" qui ira au-delà des simples possibilités techniques, mais tentera de regrouper les deux axes de fonctionnement cités plus haut (technique et fondamental). Ce vocabulaire prendra la forme d'un catalogue-échantillon de situations, dispositifs ou architectures qui permettra de mettre en avant les articulations entre les enjeux ambiantaux. Cette phase que nous appellerons le "solfège de l'outil" donne ainsi les possibles et les potentiels sous une forme appliquée et cataloguée.

## Démarche hybride

D'après la catégorisation faite par Blanchet dans « *les techniques d'enquête en sciences sociales* », notre méthode correspond particulièrement à une hybridation de la démarche « inductivo-hypothético-déductive » qui associe l'observation préalable à l'expérimentation (terrain/*EsquisSons*/terrain/*EsquisSons* etc...) et de la démarche « déductivo-inductive » qui « *s'appuie sur les résultats expérimentaux de laboratoire pour mener préalablement de nouvelles expérimentations [...] L'observation devient une composante de plus en plus importante, au fur et à mesure que l'on se rapproche du contexte et du public sur lequel se fait l'application* », (Blanchet, 2016).

Nous proposons ici de tester notre outil développé « en laboratoire » en contexte d'atelier et d'utilisation réelle. L'observation se fait sur des cas de plus en plus appliqués et prend, avec l'avancement du travail, de plus en plus de place dans la méthode.

---

1. On ne prétend pas ici extraire une vérité générale sur l'application et le développement des outils pour la discipline, mais nous chercherons plutôt à tester et à ouvrir des pistes de travail pour la spécificité des ambiances dans la conception spatiale

## 4.2 La méthode d' "enquête"

La méthode d'enquête consiste en l'observation des ateliers pédagogiques offrant aux participants différents modes d'utilisations ou d'exploration de l'outil *Esquissons*. Ces différents ateliers permettront une observation « en acte » de l'outil et de ses utilisateurs. En effet, comme nous l'avons développé précédemment, ce qui va faire le sens de l'outil, ce n'est pas uniquement son efficacité « quantitative » ou sa « justesse » dans l'esquisse sonore, mais également son efficacité « qualitative », c'est-à-dire sa potentialité à devenir un instrument (au sens de Rabardel) articulant l'utilisateur, l'objet et les modes d'utilisation qui leur sont propres.

Pour regarder cette articulation complexe, il ne s'agit pas d'ignorer complètement l'*a priori* « efficacité de l'outil ». Il nous faut en effet pouvoir extraire les données de situation qui conjugue un certain nombre de facteurs (qui correspondent notamment aux critères que nous avons exposés plus haut) et nous devons pour cela réfléchir à une méthode capable de regarder ces différents critères. Afin de réussir ces observations, et de disposer de résultats cohérents avec notre investigation, nous avons choisi d' "extraire" les informations et les matériaux d'une observation non objective en se basant notamment sur une compréhension en amont de notre position particulière d'observateur et participant à ces expériences. Comme le souligne Alain Blanchet, accepter que les données soient "fabriquées" avant tout par la mise en œuvre des méthodes permet d'entreprendre -plutôt que de tendre vers l'objectivité du résultat- la compréhension du contexte d'enquête.

*« les lois établies [lors de recherches en sciences humaines] sont dépendantes des conditions d'observation et parfois même du choix des indicateurs. Dans ces conditions le fait scientifique ne détermine pas nos observations, il est construit par elles. Ces diverses constructions influencent ensuite l'élaboration de plusieurs points de vue sur les phénomènes observés. L'observateur expérimenté est celui qui accepte de contribuer à ce va-et-vient entre ce que révèlent l'organisation des phénomènes et les savoirs antérieurement construits sur eux pour élaborer de nouveaux savoirs », (Blanchet, 2016)*

Pour ces observations, nous avons décidé de nous inspirer des méthodes provenant de l'anthropologie et de l'ethnographie qui proposent une approche « microsociologique », c'est-à-dire qui s'intéresse à « observer le plus attentivement possible tout ce que l'on rencontre » (Laplantine & de Singly, 2005). Cette approche méthodologique implique notamment un temps long permettant de s'imprégner, et donc d'apprendre à regarder autrement. Autrement dit, comme nous l'explique François Laplantine, il s'agit de s'étonner et d'interroger ce qui apparaît le plus familier pour au contraire chercher à rendre le plus familier possible ce qui pour nous apparaît comme le plus étrange. Dans notre situation, le temps des ateliers fixé à une semaine nous contraint

à des observations qui malgré leur temps court seront des temps intenses et donc, on le suppose, des sources d'observation denses.

On ne prétendra pas réaliser une observation / description ethnographique, de par notre champ disciplinaire d'abord, mais aussi par l'objet observé lui-même qui ne sera pas lié aux enjeux de communauté ou de groupe social spécifique. L'idée est plutôt ici de pouvoir employer cette méthode de « globalité » comme l'appelle Laplantine afin de chercher -dans la mesure du possible- à ne faire « aucune différence entre ce qui est banal, terne ou normal, et ce qui étonne et frappe outre mesure » (Malinowski, les Argonautes du pacifique occidental cité dans (Laplantine & de Singly, 2005)).

Ces ateliers sont tous des temps que nous avons organisés en amont et que nous conduisons pendant tout leur déroulement (*en orientant les enjeux, en guidant les participants et en articulant les contenus/productions*). Pour ces raisons, il est important de considérer notre participation en tant qu'acteur dans ces ateliers et donc de mettre en place une posture spécifique d'observation.

L'observation participante, ou observation active (Arborio, Fournier, & de Singly, 2010), implique de la part du chercheur une posture de participant dans la situation observée. Ces postures, qui peuvent prendre différentes formes, ont été décrites et déclinées par Raymond Gold en 4 catégories (Gold, 1958) : « *Complete observer* », « *Observer as participant* », « *Participant as observer* » et « *Complete participant* » puis reprises et amendées par Patricia et Peter Adler (Adler & Adler, 1987) : « *peripheral membership* », « *active membership* » et « *complete membership* » que l'on peut traduire par la participation périphérique, la participation active et la participation complète. La participation périphérique, toujours selon Adler et Adler, correspond à une implication limitée dans le groupe observé. Que ce soit pour des raisons d'objectivité qui nécessiteraient de ne pas trop s'impliquer, ou pour des raisons éthiques ou morales qui obligeraient le chercheur à ne pas s'impliquer dans certaines activités qu'il juge répréhensibles par exemple. Dans la participation active, le chercheur va acquérir une vraie place dans ou pour le groupe qu'il observe ; néanmoins, il reste extérieur et « différencié » de ce groupe. Enfin la participation que Adler et Adler appellent complète consiste en une participation totale au groupe et à ses activités, que ce soit car le chercheur est déjà membre de ce groupe ou parce qu'il s'y est « converti » pour les besoins de sa recherche. Ainsi, bien que dans la même catégorie, on voit que ces trois approches changent radicalement l'angle de vue du chercheur. On positionne notre travail entre deux catégories : l'observation participante active et l'observation participante complète. En effet bien que membre et participant de fait au groupe par notre position d' "encadrant", on reste dans une position différenciée du reste du groupe qui n'occupe pas exactement la même place dans l'atelier. Plutôt que de chercher à gommer cette différence on a préféré ici la mettre à profit en la prenant en compte dans notre méthode et donc notre recherche.

Pour cela, nous allons à la fois tenter d'être le plus à distance dans les retours qui impliquent un avis de l'utilisateur (comme les questionnaires par exemple qui seront anonymes, et complétés après les temps d'atelier et en dehors des espaces qui l'accueillaient), et nous observerons les ateliers de l'intérieur, en essayant de le faire avec la plus pleine conscience de notre place.

Une observation participante en tant qu' « observateur/organisateur » voir même « observateur/enseignant » introduit une complexité supplémentaire dans la méthode d'observation qui ne sera de fait pas analogue à ce que l'on entend par l'observation ethnographique - décentrée et élargie (Laplantine & de Singly, 2005). En effet, nous pourrions difficilement trouver une posture « décentrée », (*c'est-à-dire capable de voir les choses au-delà du prisme de ses seules propres attentes*) dans une situation qui nous place par défaut dans une position différente à celle des participants : en conduisant les ateliers, on décide et on oriente les choix et leurs modalités de réalisation de manière plus ou moins forte.

Il s'agit bien évidemment de prendre en considération cette différence, ainsi que le rapport "hiérarchique" qui peut biaiser certains résultats. Pour cela nous nous sommes efforcés durant les ateliers d'introduire un rapport le plus horizontal possible entre les participants et les "encadrants". Nous avons également fait le choix de ne pas interpréter la part d'utilisation d'*EsquisSons* sur le plan quantitatif, mais plutôt d'interpréter les manières d'utiliser à travers les productions pour tester et évaluer à la fois son efficacité mais aussi le niveau de facilité à la prise en main et utilisation.

Enfin le choix d'utiliser des questionnaires nous a semblé nécessaire afin de pouvoir recueillir un avis "direct" des participants et sur des points précis (utilisation durant l'atelier, utilisation future, niveau de complexité, pertinence de l'utilisation, articulation à la notion d'ambiance, potentiel de l'outil, etc. ) Il a été proposé aux participants d'y répondre de manière anonyme pour recueillir des propos les plus neutres possibles. De plus, les questionnaires ont plutôt été pensés pour inciter à la prise de parole sur certains thèmes plutôt que de chercher à obtenir des réponses précises.

### 4.3 L'étude des rendus et productions

La deuxième partie de notre méthode va consister en l'analyse des ateliers et ce qui en résulte. Chaque atelier va en effet mener à des productions, réalisées par les participants avec l'outil, et qui feront partie de nos matériaux d'analyse afin notamment, comme nous avons pu le voir précédemment, de comparer les usages, les finalités et les affordances de l'outil. Pour cela nous proposons pour chaque atelier d'opérer en trois points. Tout d'abord nous présenterons le "déroulé de l'atelier" qui englobe le contexte, l'objet d'étude, mais aussi l'organisation temporelle du travail. Ensuite une partie "productions et résultats" permettra de présenter sous

la forme de "catégories" les productions des participants en essayant ensuite pour chacune d'extraire les principales clefs de lectures et des débuts de conclusion sur l'utilisation, les apports et les limites de l'outil. Enfin, un troisième point reprendra le questionnaire que nous avons pu faire remplir à tous les participants en fin d'atelier et là aussi cherchera à en extraire certains retours à travers des directions dominantes dans les réponses ou encore des différences frappantes.

Pour cela nous avons fait le choix de questionnaires à réponses ouvertes que nous allons "recoder" en plusieurs grandes questions portant sur l'intérêt apporté à l'outil ou encore l'utilisation potentielle pour de futurs projets. Nous présenterons les questionnaires et leurs analyses pour chaque atelier afin de comprendre, par une autre approche, la perception des participants vis-à-vis de l'outil. Les questionnaires ont également été utiles pour guider les évolutions et transformations apportées à l'outil durant son développement et nous permettrons de présenter les défauts ou les potentialités pointés par les utilisateurs.

Cette structuration Atelier/Productions/Questionnaires nous permet d'opérer à la fois une restitution de ces derniers, mais surtout un regard analytique méthodique sur un matériau difficile à comparer et à manipuler de par son caractère "vivant" et "non précis". En effet les ateliers sont tous des théâtres différents d'utilisation de l'outil avec des participants variés, des implications et des contextes changeants et un état d'avancement de l'outil très différent d'un temps à l'autre. De plus, notre posture a elle aussi évolué au fil du travail et donc nos manières d'introduire, et de guider à l'utilisation de l'outil sont différentes d'un atelier à l'autre. Les questionnaires, malgré leur apparente "objectivité" méthodologique, sont en fait eux aussi très teintés par les questions choisies et les interprétations qui en sont faites par les répondants selon le contexte de la réponse. Pour toutes ces raisons, le canevas que nous avons fixé ne cherche pas à tendre vers une objectivité mais tente plutôt de retrouver une relative homogénéité dans la lecture et donc dans les comparaisons entre les situations. Nous dégagerons ainsi des similitudes, des différences ou des évolutions dans le rapport à l'outil pour la conception architecturale ; mais c'est surtout par l'observation des utilisations de ce dernier et des productions qui en sont faites que nous pourrons le plus justement répondre à nos questions initiales.



# Chapitre 5

## Premier corpus, l'outil

Le premier ensemble qui constitue un corpus de notre travail, c'est l'outil lui-même qui, en ayant évolué en plusieurs dizaines de versions, fabrique une base d'informations importante concernant notre problématique d'un outil de conception ambiante et architecturale

Tout d'abord, il s'agit ici de présenter les modes de fonctionnement de l'outil *EsquisSons* pour comprendre comment et avec quoi il interagit mais aussi quelles ressources il est capable de fournir. On regardera ensuite les différentes phases du développement qui présentent les évolutions et/ou selon les cas les régressions. Le troisième point concernera les choix qui ont été faits pour développer l'outil et structurer son développement. Puis nous présenterons l'outil "résultat" à travers un vocabulaire d'utilisation qui proposera un champ des possibles avec l'outil

### 5.1 Les bases de fonctionnement

#### 5.1.1 L'articulation aux outils existants, de l'architecte au musicien

Comme dit dans les chapitres précédents, nous avons voulu développer un outil qui s'intégrerait au processus et donc aux outils de conceptions que mobilise l'architecte dans son travail, et cela afin de ne pas proposer une nouvelle interface apportant encore plus de complexité, moins de flexibilité et par voie de conséquence une non-utilisation de ce dernier.

#### Un outil paramétrique

Notre choix s'est porté sur l'outil Rhinoceros 3D de plus en plus utilisé par les architectes depuis une dizaine d'années en raison de son puissant modeler permettant de générer et maîtriser les formes complexes (Rhinoceros était initialement orienté

vers l'architecture navale, la joaillerie ou encore le design automobile et permet de dessiner facilement des géométries de types « nurbs »<sup>1</sup> ; il doit également son succès au *plug-in* Grasshopper<sup>2</sup> aujourd'hui directement intégré à rhino et qui permet au concepteur d'explorer de nouvelles formes et processus de conception via un éditeur graphique d'algorithme (ou programmation visuelle<sup>3</sup>). Ce *plug-in* permet ainsi de concevoir des formes à l'aide de script génératif sans avoir de connaissance en matière de programmation.

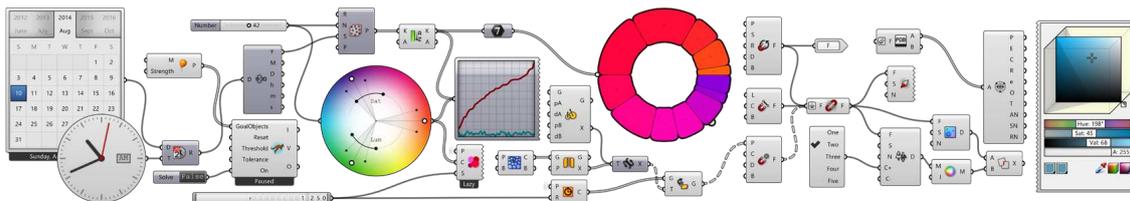


FIGURE 5.1 – Illustration des « composants » et « liens » dans grasshopper (source : rhino3d.com ; tous droits réservés)

C'est notamment la présence de ce *plug-in* qui nous a poussés à développer *EsquisSons* dans rhinoceros plus que dans un autre logiciel. Tout d'abord la liberté que donne ce type d'interface de programmation nous a permis d'engager très facilement les premiers prototypes d'auralisation<sup>4</sup> sans avoir à apprendre un langage de programmation spécifique. L'objet du travail étant alors entièrement porté sur l'outil à travers son interface et ses objectifs. Enfin c'est, comme développé plus tôt, pour profiter de la dimension itérative et ce qu'elle apporte au processus de conception que nous avons choisi d'articuler *EsquisSons* à ce type d'outil. En effet il ne s'agit plus ici de travailler sur un espace abouti que l'on va amender et améliorer jusqu'au détail, notamment en intégrant la dimension acoustique, mais bien de travailler sur un processus de génération de cet espace et des interrelations que cela construit.

Ainsi on retrouve dans la conception par programmation visuelle une manière de « constituer » (au sens d'établir une situation et les agencements qui lui sont

1. Rhinoceros est un outil de conception assistée par ordinateur développé par Robert McNeel et qui est reconnu et utilisé pour la génération de NURBS (Non-Uniform Rational Basis Splines) permettant de générer des surfaces complexes sur la base de points de contrôle, voir [www.rhino3d.com](http://www.rhino3d.com) (consulté en juillet 2019)

2. Grasshopper est une interface de programmation visuelle pour Rhino, voir [www.grasshopper3d.com](http://www.grasshopper3d.com) (consulté en juillet 2019)

3. La programmation visuelle, ou langage graphique est un procédé de « représentation » d'un programme qui permet de manipuler graphiquement les éléments le composant ainsi que leurs liens logiques. En règle générale les composants (objets, modificateurs, actions) sont représentés par des cadres (boîtes) alors que leurs liens (données entrantes et sortantes) sont représentés par des traits ou des flèches (câbles)

4. Le terme auralisation est utilisé par correspondance avec celui de visualisation et illustre ainsi une représentation dédiée à l'écoute (Kleiner, Dalenbäck, & Svensson, 1993)

associés) le projet, et non pas de le construire (au sens de réaliser selon une fin déterminée). Ce potentiel offert par l'outil Grasshopper correspond parfaitement à l'idée d'esquisse sonore que nous souhaitons développer ; c'est-à-dire intégrée à une pensée du projet comme processus, se fabricant de et par lui-même.

## Un outil sonnant

En parallèle de l'outil de modélisation, nous avons besoin d'un logiciel capable de moduler/modifier les sons afin de proposer une esquisse « auralisé ». Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser le logiciel MAX/MSP<sup>5</sup> basé lui aussi sur un fonctionnement en programmation visuelle et articulant un calculateur/interpréteur de messages (MAX) et un processeur de signal audio (MSP). Grâce à ce deuxième outil, on peut alors réaliser tout un ensemble d'opérations relatives à l'audio (synthèse/modulation/analyses/etc.) et aux messages (contrôle/explorateur/midi/etc.).

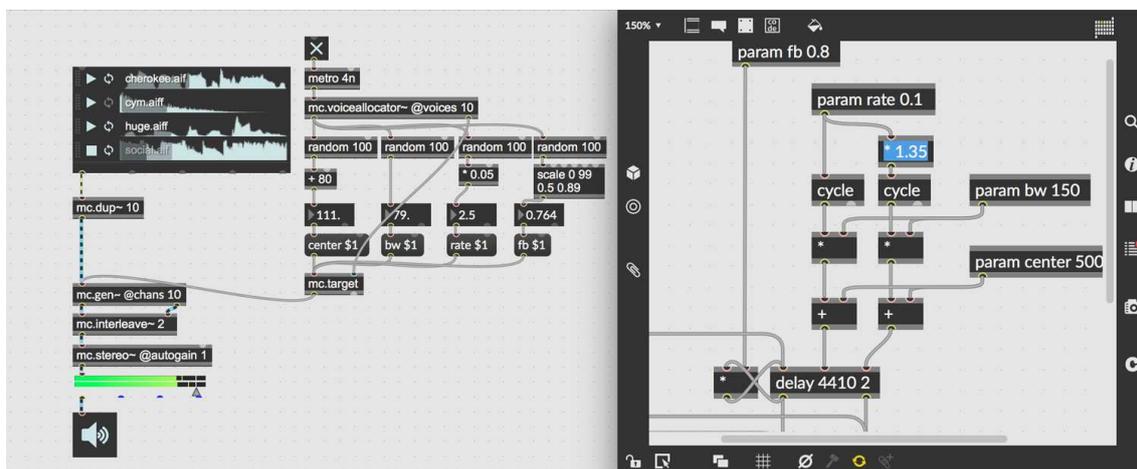


FIGURE 5.2 – Illustration de l'interface de programmation visuelle de MAX8 (source : cycling74.com)

Notre premier objectif a alors été de coupler ces deux logiciels de manière à pouvoir relier directement un processus de modélisation à une écoute. On a donc commencé par envoyer un message simple depuis le modèle 3D vers le logiciel Max/MSP pour que ce dernier produise un son. L'idée principale de faire communiquer ces deux suites logicielles provient du fait qu'ils utilisent tous deux le principe des paramètres (variables et mathématiques) comme information de base pour la génération des morphologies et des sons respectivement Rhinoceros 3D et MAX/MSP. Il s'agit ensuite d'utiliser les informations de l'un vers l'autre et vice versa.

Le principe d'interactivité entre les deux logiciels, est géré par une communication

5. Max/MSP a été développé à l'IRCAM dans les années 80 par Miller Puckette. Il est désormais distribué par l'entreprise cycling '74 (voir <https://cycling74.com>, consulté en juillet 2019)

UDP<sup>6</sup> (pour sa simplicité sa souplesse et sa rapidité d'usage (Bulfone, 2016)) au format OSC<sup>7</sup> qui permet de transmettre plus rapidement la donnée que la norme midi, mais aussi et surtout des données multiples et dans une syntaxe beaucoup plus riche que la limite du nombre entier qu'impose le midi<sup>8</sup>.

MAX/MSP possède également l'avantage d'être un environnement de travail initialement orienté vers la création musicale et nous faisons le pari qu'un tel milieu est plus adapté à notre volonté de construire un outil d'esquisse sonore. En effet, afin de proposer un outil de conception architecturale par le son, il nous semble plus pertinent d'utiliser des outils de création sonore qui permettront une plus grande intuitivité pendant le développement, au risque de s'éloigner d'un résultat identique à la réalité<sup>9</sup> mais au bénéfice d'une plus grande liberté dans la construction de la "matrice" de modulation des sources et donc d'un processus créatif et itératif dans l'élaboration de l'outil.

### 5.1.2 Les pistes initiales

L'objectif de départ a été d'élargir le champ des possibles de notre premier essai<sup>10</sup>. Ainsi, nous avons dû, pour rendre possible des environnements d'application plus larges, mais aussi pour permettre plus de modalités d'évaluation, complexifier légèrement l'outil en y ajoutant de nouvelles fonctions. Le point d'écoute devait pouvoir être positionné indépendamment des dispositifs architecturaux et à l'intérieur ou à l'extérieur de ceux-ci. De cette façon, nous pouvions commencer à tester *EsquisSons* au-delà des configurations de façades et au-delà de l'échelle de l'ilot. L'objectif final était de proposer un ensemble de "clusters" pouvant être agencés de manière libre pour construire sa scène sonore dans toutes circonstances d'espaces et d'usages, ce qui permet alors d'écouter les choix et les transformations dans le modèle sans qu'il n'y ait de limite d'échelle, de matérialités ou de morphologies.

---

6. "User Datagram Protocol" ou "protocole de datagramme utilisateur" en français et qui est un protocole de communication pour la transmission de données sous forme de paquet de données (datagramme); (Postel, 1980)

7. L' "Open Sound Control" correspond à un format pour communiquer en temps réel des données entre machines numériques, voir plus de détail sur <http://opensoundcontrol.org> (consulté en avril 2020)

8. Voir le tableau comparatif ici : <http://opensoundcontrol.org/files/OSC-Demo.pdf> (consulté en juillet 2019)

9. Nous développons cette idée dans la section sur l'esquisse et notamment en abordant l'équilibre entre la liberté de manipulation et la justesse de la projection (voir 2.6, page 59,

10. Voir avant propos, page 15

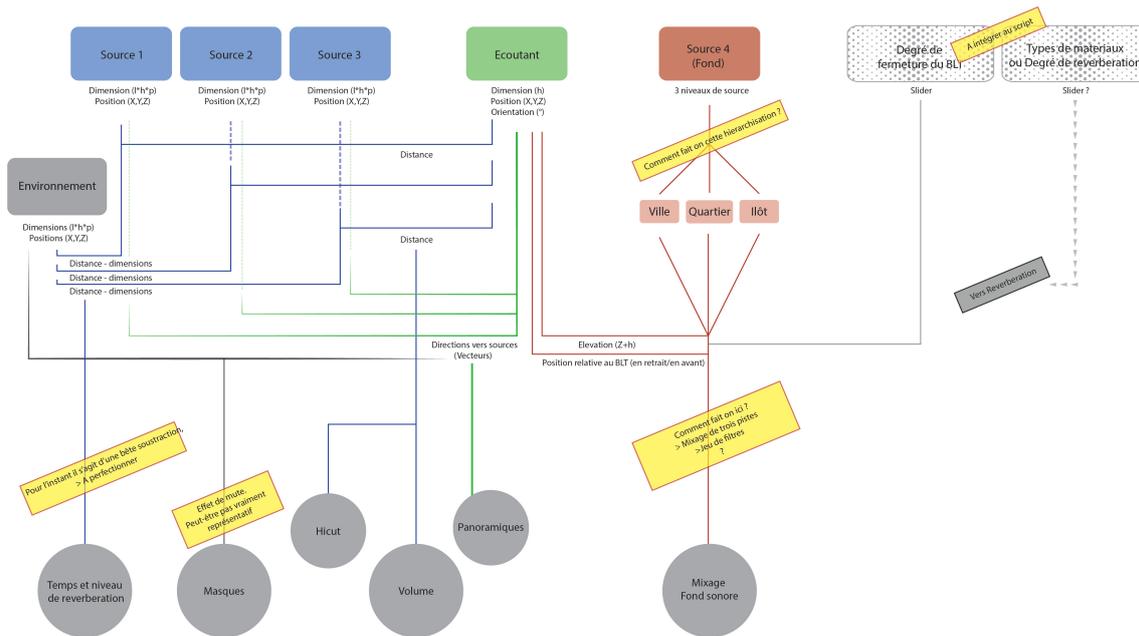


FIGURE 5.3 – Exemple d'un des diagrammes de fonctionnement proposant des pistes d'amélioration lors des premières phase de développement d'*EsquisSons*

### 5.1.3 Le fonctionnement utilisateur et les calculs acoustiques

L'association réalisée entre les deux logiciels l'un de C.A.O. et l'autre de M.A.O<sup>11</sup> se fait via trois fenêtres, les deux premières permettant de gérer les modules dans Rhinoceros/Grasshopper et la troisième de gérer les sources sonores à travers une application compilée dans Max/MSP et qui fonctionne de manière transparente comme un *plug-in* du modèleur 3D. De cette façon l'utilisateur n'a pas l'impression de devoir mobiliser différents outils logiciels pour arriver à ses fins, il ouvre ses *plug-ins* de manière transparente comme il a l'habitude de le faire avec d'autres outils d'évaluation ou de simulation (lumière, thermique, flux, etc.).

La troisième fenêtre dédiée à l'application *EsquisSons*<sup>12</sup> n'est quant à elle pas nécessaire au fonctionnement de l'outil. En effet elle est surtout présente pour permettre une exportation audio des esquisses réalisées et pour permettre un contrôle indépendant des volumes manuels (si l'utilisateur veut proposer une esquisse différente indépendamment des règles associées au modèle).

11. Respectivement « Conception Assistée par Ordinateur », voir 2.5.1, page 53, et « Musique Assistée par Ordinateur »

12. À droite dans la figure 5.4, page 108,

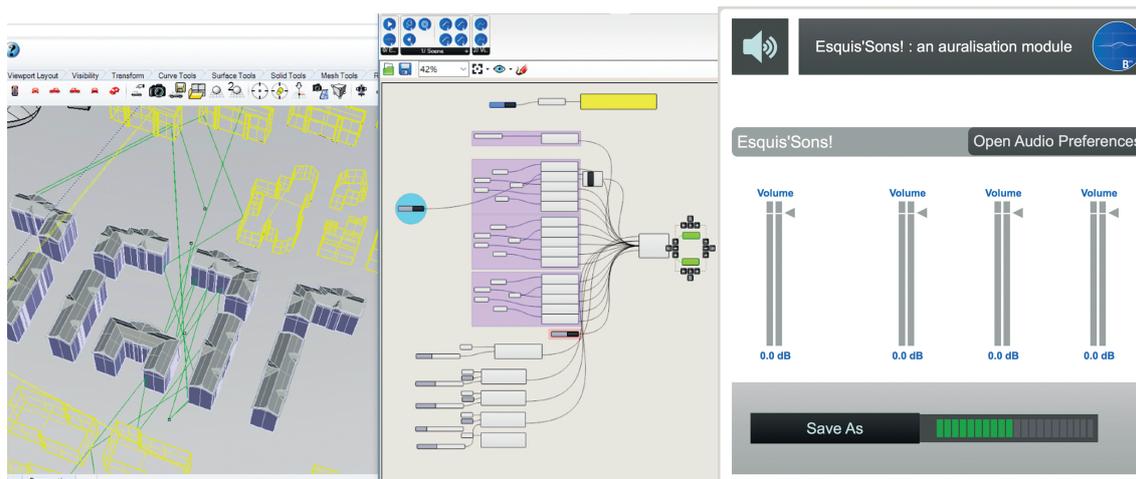


FIGURE 5.4 – Illustration des trois interfaces déployées (de gauche à droite : Rhinoceros, Grasshopper, Application Esquis-Sons)

## Un contexte spatial

L'utilisation de l'outil d'esquisse commence nécessairement par la mise en place d'un contexte qui servira notamment à régir la propagation des sources sonores. Pour cela, on va utiliser une modélisation provenant directement de Rhinoceros ou de grasshopper que nous associons ensuite au *plug-in EsquisSons* grâce à un composant dédié (*on ne peut donc pas réaliser avec EsquisSons une esquisse sonore sans morphologie ; il faudra au minimum un sol*). Ce composant qui permet de décrire l'environnement construit permet d'assigner des propriétés matérielles/acoustiques simples<sup>13</sup>). Une fois l'« encadrement » bâti ou matériel déterminé, il est nécessaire de positionner dans ce modèle le point « à partir » duquel on écoute. Ce point est déterminé par ses coordonnées cartésiennes tridimensionnelles (x,y,z) mais aussi par sa hauteur (taille ou position, assise, debout, accroupie) et enfin par la direction vers laquelle il regarde (entre 0 et 360 degrés qui correspondent au nord du modèle). Nous avons choisi de l'appeler « écoutant » plus que point d'écoute puisqu'il s'agit non pas d'un point, mais d'un ensemble de paramètres qui détermine un « individu à l'écoute » et donc d'un rapport au corps et à sa posture dans la scène.

## Une scène sonore

Dans un second temps, l'outil nécessite la mise en place de ce que l'on appelle la « scène sonore » et qui correspond à un positionnement dans le modèle des différentes sources présentes dans l'environnement. Ces sources sont associées à des points dans

13. Le détail de chaque paramètre peut-être retrouvé en deuxième Annexe A.2, page 250,

la modélisation et à des caractéristiques qui permettront ensuite de déterminer les règles pour moduler leur son dans l'auralisation. En effet au-delà de la position dans le modèle qui va déterminer la latéralisation dans le casque, mais aussi les éventuels masques derrière lesquels peuvent se trouver les sources, on demande à l'utilisateur d'informer deux caractéristiques supplémentaires. Tout d'abord la taille physique de la source, qui indépendamment de son intensité sonore va permettre d'évaluer son impact spatial. C'est-à-dire sa propagation et la vitesse de décroissance de son intensité : si on prend l'exemple d'une même source caractérisée d'abord par un petit volume émetteur de cinq centimètres cubes, puis ensuite par un volume de 50 mètres cubes, celle-ci n'aura plus les mêmes qualités de propagation dans l'espace (voir figure 5.5, page 109, ) ni les mêmes rapports de distance avec l'écouter. La deuxième caractéristique d'une source, c'est le son que l'on va utiliser et donc

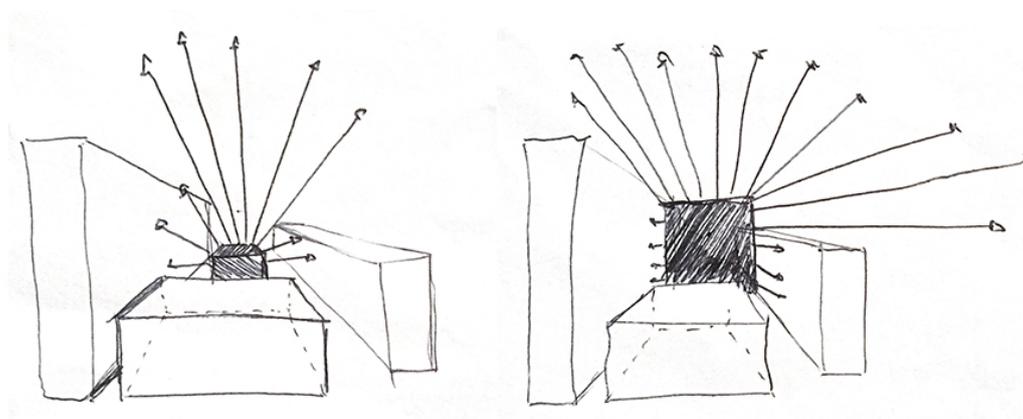


FIGURE 5.5 – propagations de sources de tailles différentes

entendre depuis cette dernière. Il peut s'agir soit d'un son « type » intégré à l'outil ou bien d'un son personnel de l'utilisateur (capté sur le site, créé ou encore téléchargé depuis des ressources en lignes<sup>14</sup>) qui dans ce cas correspond simplement à son chemin sur le disque au format texte.

Les sources – qui correspondent donc à un son et à un volume dans le modèle – peuvent ainsi être de différentes natures ; un son isolé, très localisé par exemple (un enfant qui crie) ou dans son extrême inverse un ensemble de sons difficilement dissociables et avec une amplitude spatiale très vaste (un marché).

---

14. Les sons intégrés permettent de couvrir une large gamme de fréquences et de rythmes afin de tester des modèles 3D très rapidement par le son. Ils ne permettent pas pour autant de se passer de sons qui proviennent directement du site et/ou de sons externes qui incarneront mieux les volontés du concepteur

## Interactions et retour de son

Sur la base de cette définition d'un modèle spatial et de son environnement sonore (tous deux entièrement paramétrables en temps réel), chaque composant (source, point d'écoute, environnement construit) produit des données, qui vont ensuite être manipulées dans le composant principal de calcul.

L'outil *EsquisSons* fonctionne autour de ce composant appelé "EsquisSons Main Engine" et qui réceptionne toutes les données géométriques et mathématiques dessinées et déclarées en amont. Il va être en charge de traduire ces informations en données pertinentes pour les calculs d'auralisation qu'il réalise par la suite. Il est également responsable de la communication avec l'application d'auralisation développée sur maxMSP<sup>15</sup>.

Les opérations sont organisées "par source" ce qui permet d'évaluer avec précision la spécificité de chaque position dans l'espace modélisé, et d'appliquer ensuite les effets et les modulations cohérentes à chaque source. Pour chacune on va notamment extraire la distance au point d'écoute, mais aussi sa latéralisation par exemple.

Le moteur de calcul transmet les résultats sous la forme de nombres ou de chaînes de caractères (*textes*) à l'application que nous avons compilée dans Max/MSP et qui elle-même va employer cette donnée. En effet le module créé dans Max/MSP est capable, avec ces informations (et donc en fonction du modèle spatial et des sources sonores que l'utilisateur a construit), de lire, spatialiser et moduler les sons pour les donner à entendre à l'utilisateur.

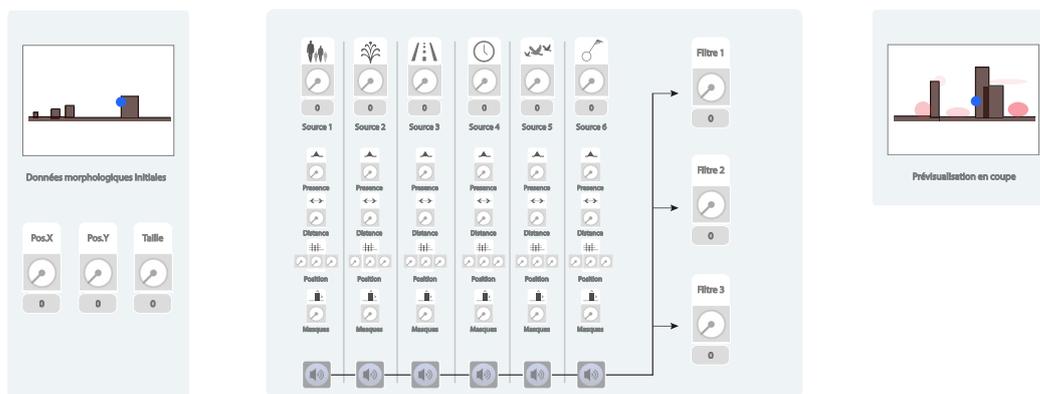


FIGURE 5.6 – Croquis d'intention pour l'outil EsquisSons lors des premières phases de développement

15. Il s'agit ici d'une présentation accessible des différentes étapes. Les interactions, traductions et calculs sont présentés en détail dans le code source de l'outil disponible en troisième annexe, A.3, page 256,

## 5.2 Les phases de développement

L'outil *EsquisSons* tel qu'il est né à ses débuts<sup>16</sup> avait été pensé comme une aide à l'écoute selon quelques situations types. Il a ensuite beaucoup évolué tout au long de ce travail de doctorat et nous allons détailler ici une partie de ces évolutions qui permettent de mieux comprendre les phases de travail et ce qu'elles apportent au développement d'un outil numérique pour la conception ambiante.

### 5.2.1 La progression du fonctionnement

Dans un premier temps, l'outil a été pensé avec un objectif "simplifié" qui consistait en l'esquisse sonore d'interfaces de façade, pour des environnements sonores extérieurs. L'échelle de travail se limitait à l'îlot urbain représenté par quatre "blocs" paramétrables. Plus tard et au fur et à mesure des versions nous avons réussi à la fois à élargir les possibles en termes d'échelles de travail mais aussi de donner la possibilité d'esquisser des intérieurs (avec sur ce dernier point un challenge important sur les calculs de réverbération et leur "robustesse" selon les différents types d'environnement).

#### Première version : Les contextes spatiaux

Pour la première version que nous avons développée, il avait été décidé de laisser à l'utilisateur la liberté de manipuler - au plus - cinq volumes de types parallélépipédiques simples afin de former un îlot qui pouvait comporter jusqu'à quatre bâtiments et un sol de dimensions libres.

Les quatre « blocs » (entièrement paramétrables par leurs tailles, positions et orientations) permettaient d'approcher la plupart des morphologies urbaines classiques, mais cette absence de liberté dans le dessin des bâtiments a très vite été un frein pour employer *EsquisSons* dans plus de contextes et pour esquisser des environnements sonores moins "évidents". Nous avons alors réfléchi à une manière d'importer une ou plusieurs géométries complexes pour alimenter la scène spatiale de l'esquisse sonore. Cette option nous a permis de travailler avec des volumétries complexes, mais aussi des rapports d'échelles plus étendus.

---

16. Le nom et le but du projet étaient décrits dans le projet de recherche de départ (voir Avant-propos page 15), mais l'outil a évolué à travers le présent travail doctoral comme nous allons l'expliquer ci-dessous

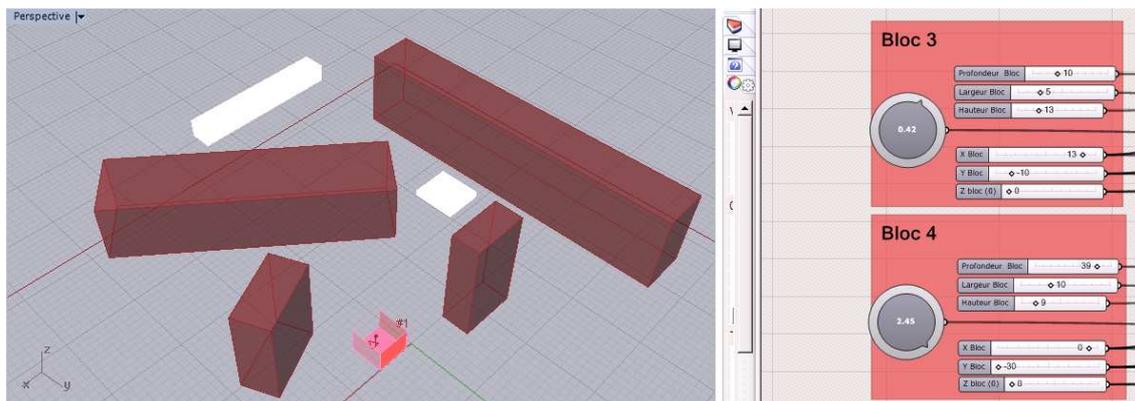


FIGURE 5.7 – Exemples de morphologies réalisées avec le système dit des « blocs » dans *EsquisSons*

En effet, on a très vite constaté une difficulté à travailler avec les seules morphologies parallélépipédiques lorsque l'on a commencé à s'intéresser à l'esquisse à différentes échelles. L'outil *EsquisSons* qui permet d'être immergé dans la scène sonore commençait à offrir ce potentiel de traverser de manière transversale la problématique des échelles dans la représentation et la conception, mais il manquait la possibilité d'interroger plus finement la conception de l'espace « à l'échelle du corps en mouvement » (Chelkoff, 2003).

### Les contextes sonores

Pour englober néanmoins les problématiques de proche et de lointain sonore qui sont un enjeu capital de la ville contemporaine et de ses nouvelles densités (Marchal, 2013), nous avons fait le choix de proposer à l'utilisateur la mise en place d'« environnements sonores cardinaux » pour lesquels il était possible d'ajuster la distance et d'assigner des ambiances sonores caractéristiques. Ces quatre « environnements sonores » cardinaux (Nord, Sud, Est, Ouest) constitueront ainsi l'identité sonore "lointaine" de notre esquisse en leur donnant une distance relative à la morphologie urbaine précédemment construite. L'interface, à ce moment-là pensée dans Max/MSP, nous permettait de sélectionner des sources types, représentatives des ambiances sonores urbaines les plus courantes.

Cette première version du contexte lointain s'est vite retrouvée limitée puisque trop « englobante ». En effet en travaillant le lointain uniquement comme des ambiances cardinales, on perdait la possibilité d'intégrer des sources très localisées ou encore très dissociées dans cet "horizon sonore". Nous avons ainsi choisi d'appliquer la même interface pour toutes les sources que l'utilisateur importerait dans son esquisse en construisant un script capable de les moduler selon leur distance et ainsi de conserver voire de complexifier ce rapport particulier entre environnement sonore à distance,

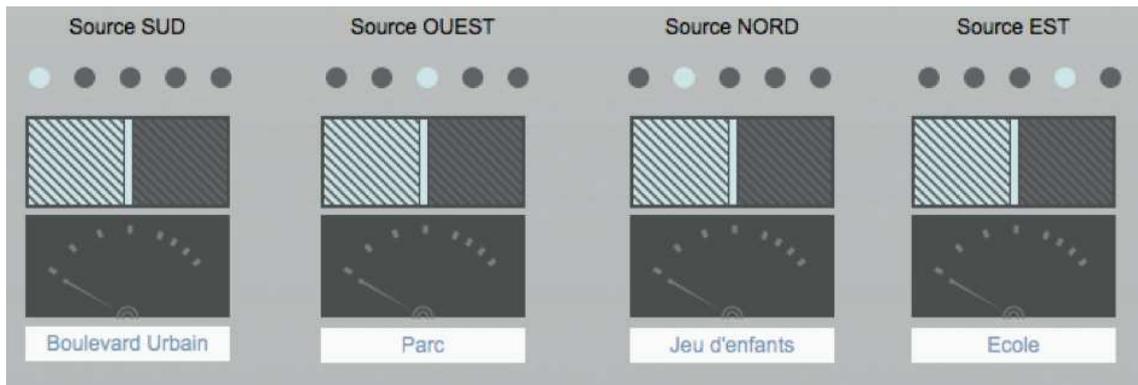


FIGURE 5.8 – Déclaration des sources sonores cardinales via l'application EsquisSons

environnement sonore proche, et tous les intermédiaires qui se positionnent entre les deux.

## 5.2.2 L'évolution des calculs et modèles acoustiques

Les méthodes de calculs et d'élaboration des modèles ont dû évoluer en parallèle du développement de l'outil pour correspondre à l'élargissement des possibles. Sur la base des critères élaborés pour tester nos hypothèses, nous avons avancé notamment la fidélité de l'outil pour faire entendre un environnement sonore dans un modèle, mais aussi son potentiel à devenir un outil d'esquisse architecturale et cela en proposant des modalités d'usage spécifiques permettant à l'utilisateur de focaliser avant tout sur ce qu'il dessine plus que sur la technique. Ces deux critères presque opposés doivent tendre pour nous vers un équilibre pour permettre à la fois de ne pas faire entendre des environnements sonores "aberrants" au concepteur, mais lui donner suffisamment de liberté dans son exploration et dans ses choix.

C'est en grande partie par les méthodes de calculs choisies que nous cherchons à tendre vers cet équilibre. L'évolution de ces méthodes tout au long de notre travail s'est basée sur les ateliers de terrains, les productions, et les retours des utilisateurs eux-mêmes. Cela nous a permis de constituer un outil stable, plutôt fidèle mais non figé. Un outil adaptatif qui est donc également capable de fonctionner dans différentes phases de conception.

Pour qu'*EsquisSons* puisse s'adapter à toutes les situations tout en conservant une certaine "justesse" dans son retour sonore, nous avons travaillé sur une organisation de l'outil en trois niveaux : Les paramètres, les modificateurs, et les résultats (le retour visuel et sonore) que nous avons construits par suite d'essais/erreurs et d'éliminations.

## 5.3 Les choix de développement

Développer l'outil a alors avant tout constitué en une série de choix faits pour répondre aux objectifs que nous avons sur un plan technique, mais aussi au regard des hypothèses que nous voulions tester et donc des spécificités propres à *EsquisSons*. Celui-ci étant une exploration vers un type d'outil qui n'existe pas pour l'architecte<sup>17</sup>, c'est sans référentiel que nous avons dû aiguiller les choix même les plus simples, et c'est notamment pour cela que le développement fait partie de notre corpus d'analyse.

En effet, les choix d'organisation de l'outil qu'il a fallu faire comme ceux décrits précédemment (interface utilisateur, fonctionnement), mais aussi des choix plus précis, parfois techniques comme par exemple les différents paramètres permettant de qualifier objets sonores et spatiaux dans l'outil sont autant de données qui orientent l'outil et ses possibles. De la même manière, il était très important de réfléchir et de choisir quelles règles allaient être appliquées pour effectuer les calculs afin d'aboutir aux résultats souhaités, tant ceux donnés par l'esquisse que le résultat de ce qu'est l'outil d'esquisse lui-même.

### 5.3.1 Choix d'organisation et d'interface

Comme nous l'avons vu, le mode de fonctionnement que nous avons présenté dans les sections 5.1 et 5.2 est issu de solutions techniques et de propositions orientées vers un mode d'interaction entre l'utilisateur et l'outil qui se veut clair et simple, tout en laissant la plus grande amplitude d'action possible à l'utilisateur. En effet, cette liberté laisse plus de possibilités au concepteur d'utiliser l'outil à sa façon, et donc plus de potentialités à ce qu'Anne Tuscher appelle l' « involontaire » et qui permet potentiellement une inflexion de l'esquisse sur le design (Tüscher, 2005).

Un première observation que nous pouvons faire sur cette phase de développement, c'est que beaucoup d'impasses rencontrées lors des premières utilisations ont eu pour point commun la difficulté d'interagir avec l'outil. Nous avons par exemple constaté pendant les premiers ateliers de fortes difficultés pour les utilisateurs à installer le logiciel, ce qui nous a conduits vers une amélioration du processus d'installation par un installateur simplifié ; puis, plus tard à revenir à un procédé d'installation manuel suite aux difficultés de maintenance que cela ajoutait.

De la même manière la manipulation du *plug-in* lui-même ou bien de son hôte (Rhinos et Grasshopper) ont parfois été laborieuses pour certains utilisateurs et nous ont permis, via les problèmes rencontrés et leurs retours de corriger certaines interfaces ou encore même de développer de nouvelles fonctions.

Cet enjeu lié à l'interface utilisateur bien connu des professionnels du développe-

---

17. Le projet "Urbason" s'est développé en parallèle au CSTB pour proposer l'auralisation de projets urbains, mais la logique et les infrastructures sont très différentes

ment logiciel, et notamment la "continuité" entre le système et les applications pour ne pas déstabiliser l'utilisateur (Myers, Hudson, & Pausch, 2000) s'est progressivement révélé primordial dans notre travail. En effet, cela ne se résume pas à une amélioration "cosmétique" des interfaces mais bien à une dimension de l'outil qui peut remettre en cause les processus d'interaction et donc, potentiellement les points d'accroche et d'investigation de la conception avec les sons.

La notion d'affordance développée par Gibson spécifiquement appliquée au numérique est exemplifiée par Serge Tisseron dans son ouvrage de vulgarisation "Petit traité de Cyberpsychologie" où il évoque le monde du design et plus précisément Steve Job qui *"a été le premier à en adapter les principes aux objets numériques. Il a eu l'intuition de fonder la relation à ses produits sur les formes d'intelligence utilisées par l'enfant dans sa découverte du monde : désirs de toucher, de froter, de caresser, d'avancer par essais et erreurs avec un retour en arrière toujours possible"* (Tisseron, 2018). On voit alors comment l'outil numérique, par son interface et ses modalités sensibles (visuelles, sonores, tactiles, etc.), peut inviter chez l'utilisateur une façon de l'utiliser. C'est ce dont il est question ici pour guider nos choix d'organisation : nous cherchons à proposer des potentialités d'utilisation par le faire.

Nous proposons donc d'exposer les différentes propositions d'interfaces et les solutions techniques qui ont été testées pendant l'évolution de l'outil, nous verrons ensuite les choix et impacts sur le processus d'interaction direct entre l'utilisateur et la machine (*manipulations possibles et retours logiciels*).

## Solutions techniques et interface utilisateur

Bien que ces points puissent paraître techniques, voire triviaux, il nous semble important de préciser ces étapes qui lorsque l'on parle d'utilisation concrète deviennent majeures et influentes sur les processus et sur les résultats de conception<sup>18</sup>. Le processus de « projet » qui a lieu lors du travail de conception nécessite de s'articuler à un ou des outils systèmes performants pour l'utilisateur : on entend par là une association fonctionnelle basée sur des schèmes, c'est-à-dire des modes d'actions ou d'opérations associés à l'instrument. Ces derniers permettent alors d'apporter des solutions sous la forme de marche à suivre face à des problèmes rencontrés lors de l'utilisation de l'outil, mais ils nécessitent, pour pouvoir exister, l'utilisation préalable de l'outil.

---

18. Voir le deuxième corpus : les ateliers, Chapitre 6, page 145,

On les considère comme « des blocs de solutions procédurales » (Lebahar, 2007) dans le comportement de l'utilisateur, et de la même manière qu'avec le processus d'instrumentation, ceux-ci ne peuvent exister que si l'on permet l'action instrumentée :

*"Les processus d'instrumentation sont relatifs à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation et d'action instrumentée : leur constitution, leur fonctionnement, leur évolution par accommodation, coordination, inclusion et assimilation réciproque"*  
(Rabardel, 1995)

Pour rendre possible cette action, il faut un minimum de freins initiaux à l'utilisation, et ces derniers sont d'abord associés à des problèmes dits « techniques » que nous n'avions initialement pas intégrés à la réflexion, mais qui se sont révélés primordiaux dès les premiers essais d'utilisations « larges ».

## L'installation

Le premier élément qui a dû évoluer dès les premiers tests avec *EsquisSons*, c'est la procédure d'installation de l'outil. Les décisions prises pour cette partie du *plug-in* reflètent parfaitement notre méthode itérative d'essai-erreur sans pour autant aboutir à une « évolution » du procédé. Nous constatons ainsi rétrospectivement des choix qui sont revenus à leur état initial pour faire face aux problèmes rencontrés<sup>19</sup>. Dans un premier temps, nous avons laissé l'utilisateur positionner manuellement l'ensemble des fichiers et dossiers nécessaires à l'utilisation d'*EsquisSons* aux différents emplacements virtuels en fournissant un rapide guide écrit sous la forme d'un fichier texte. Par ailleurs, le *plug-in* utilisé dans grasshopper était en fait une « définition » ou un « script » écrit directement dans le logiciel et ouvert depuis un fichier standard. Il ne s'agissait donc pas d'un *plug-in* stable à proprement parler<sup>20</sup>.

Pour la troisième version (0.8), nous avons décidé de développer un installateur automatique pour l'application compilée dans MaxMSP qui posait de nombreux problèmes de fonctionnement aux utilisateurs l'ayant mal positionné ou simplement mal copié du dossier source au dossier cible.

19. L'installation d'un logiciel nécessite de connaître les procédures systèmes complexes et spécifiques à chaque plateforme et version (autorisation, chemins, etc.) ainsi qu'un niveau de programmation qui ne fait pas partie de notre champ de compétence : *"Décrire directement les solutions dans le monde réel a comme inconvénient de nécessiter une connaissance pointue du fonctionnement de chacun des outils. Il faut aussi écrire une solution pour chaque installation et la réutilisation des précédentes solutions (écrites pour d'autres installations) est très difficile. Et enfin, les solutions sont dépendantes de l'évolution des outils."* (Lestideau, 2003)

20. Par *plug-in* il est entendu : « un composant logiciel qui permet d'étendre les fonctionnalités de rhino ou de grasshopper en y ajoutant des fonctions ou des possibilités » source : [develop.rhino3d.com](http://develop.rhino3d.com) ; consulté le 2 septembre 2019 (*traduction par l'auteur*)



FIGURE 5.9 – Les définitions créées sur Grasshopper sont sauvegardées au format '.gha'. Un script peut donc être résumé à un « fichier » grasshopper qui permet à partir d'une série de paramètres A de générer une morphologie ou un processus B. Il englobe les composants mais aussi les connexions entre eux

Lors de la quatrième version (0.9), nous avons choisi de revenir à un procédé d'installation manuel pour éviter des problèmes liés à la maintenance ou aux différentes versions de plateformes (Windows 7/8/10 ne nécessitant pas les mêmes procédures). Cette installation manuelle a malgré tout été simplifiée sous la forme de dossiers à déplacer.

Il reste encore aujourd'hui quelques freins liés aux erreurs possibles inhérentes à l'action de déplacer un fichier ou un dossier (erreur de chemin ou de nom par exemple) que nous avons solutionnés en partie par la détection et l'affichage adapté des erreurs à l'utilisateur. La dernière version (3.1) embarque un système d'installation "hybride" qui permet à un utilisateur novice de laisser l'installateur positionner les dossiers et fichiers aux bons endroits ainsi qu'une détection des erreurs automatique, il est néanmoins possible pour un utilisateur averti de basculer sur une manipulation manuelle qui permettra de régler les éventuels problèmes. Les derniers tests d'installation (*septembre 2021*) avec des utilisateurs novices ont été tous concluants puisqu'aucune des installations n'a posé de problèmes et nécessité de maintenance. Par ailleurs nous n'avons plus de retours utilisateurs sur cette question depuis la version mise en ligne en avril 2020.

## Interface graphique

L'évolution des versions a également été l'occasion de proposer un vrai *plug-in* pour grasshopper prenant la forme de composants compilés que l'on importe depuis

le menu pour construire son script. Initialement, l'outil ne fonctionnait que sur la base d'un "script" pré-construit que l'on ne pouvait pas manipuler. L'interface permet désormais de manipuler des composants que l'utilisateur connecte lui-même entre eux afin de construire son propre processus d'utilisation.

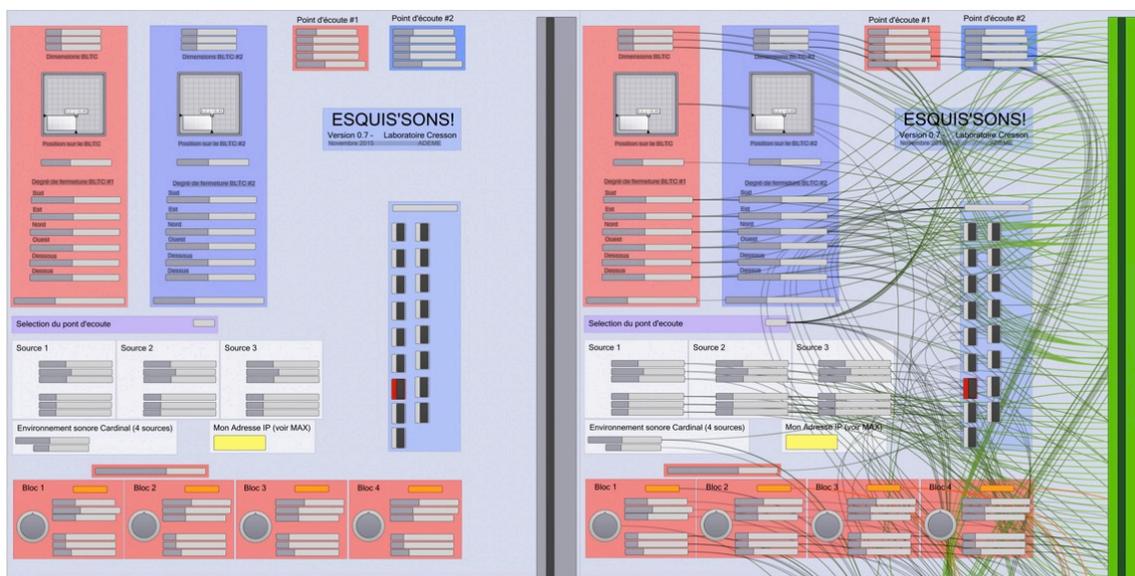


FIGURE 5.10 – Captures d'écran des premières versions "scripts" de l'outil, construites directement dans l'interface de programmation visuelle de grasshopper (2015). À gauche en version utilisateur, à droite avec les connexions visibles entre chaque éléments

Nous avons choisi de fonctionner de cette manière pour nous rapprocher d'un fonctionnement plus libre et autonome qui permet de construire un script à partir de blocs. Les versions précédentes avaient pour résultat une manipulation moins flexible, moins intuitive, et surtout une articulation avec le reste du processus de conception beaucoup plus délicate. Il s'agit pour nous de proposer un instrument capable de s'adapter aux spécificités de chaque projet. Cette mutation est donc une étape majeure de l'interface utilisateur au service du processus de conception, mais aussi de l'idée d'un outil numérique d'esquisse par le son que nous avons développée précédemment. Nous avons notamment pu constater une vraie différence d'appropriation et d'utilisation de l'outil lors du passage de la version 0.8 à la version 0.9<sup>21</sup>.

21. Voir les tableaux d'évolution d'organisation et d'interface utilisateur en deuxième annexe A.2.2, page 253, ; voir également le deuxième corpus et la différence d'utilisation entre l'atelier "École d'hiver 2016" et l'atelier "École d'hiver 2017", section 6, page 145,

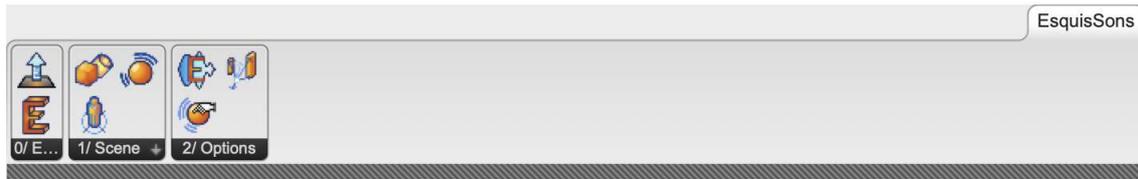


FIGURE 5.11 – Capture d'écran d'EsquisSons intégré sous forme de plug-in dans la barre d'outil de grasshopper

Enfin, on peut noter des difficultés de connexions entre les deux interfaces (CAO et MAO) qu'il a fallu rendre plus "robustes" au fil des versions. La version 0.8 a notamment permis de mettre en place un système de détection et de connexion automatique entre les deux logiciels pour faciliter cette dernière et surtout informer l'utilisateur d'un éventuel problème. Les versions 1.0 et 1.02 ont dû s'adapter à des changements majeurs d'accès et de sécurité entre les fichiers et les logiciels avec des mises à jour importantes des systèmes d'exploitation (compatibilité avec Windows 10 pour la v1.0 et avec macOS pour la version v1.02 - compatible Rhino pour mac). Les protocoles de communication ont ainsi été simplifiés et certains chemins transformés pour s'adapter aux nouvelles contraintes.

### Le poids de l'interface et les enjeux d'un fonctionnement optimal

Tout au long de ce travail, nous avons pu constater un réel impact de l'interface utilisateur et des facilités de mise en place de l'outil sur son utilisation, que ce soit d'un net refus jusqu'à des blocages sur des moments clés du projet. Ce poids de la technique revient lors de nos ateliers et apparaît souvent dans la littérature<sup>22</sup> ce qui nous a poussé à considérablement transformer l'outil du début. L'état auquel nous sommes arrivés à ce jour n'est toujours pas parfait et se heurte encore à certains blocages et *bugs* techniques, mais nous avons réussi à considérablement fluidifier l'utilisation. On constate d'ailleurs à travers l'évolution des productions que nous présentons dans le deuxième corpus "les ateliers" que celles-ci sont de plus en plus définies avec des temps nécessaires à la prise en main de plus en plus réduits.

Ces évolutions d'interfaces et de solutions techniques sont nécessairement associées à des choix d'organisation et de fonctionnement du logiciel qui touchent directement les possibles offerts au concepteur pour manipuler et travailler avec l'outil. Nous avons choisi de dissocier ces choix en deux parties : les éléments propres aux manipulations de l'utilisateur sur l'outil et ceux relatifs aux retours de l'outil vers l'utilisateur.

22. Interactions homme-machine pour la modélisation en trois dimensions : (Aish, 1986), Interfaces tangibles pour la modélisation architecturale : (Al-Qattan, 2016), Problèmes d'installation et problèmes logiciels dans un outil collaboratif de conception générative en 3D : (Grasl, 2006)

## Manipulation Utilisateur dans Grasshopper

On entend par manipulation le "maniement" et les "manœuvres" faites avec l'outil par l'utilisateur. Au fur et à mesure du développement, on a pu constater que "déverrouiller" l'outil (en laissant plus libres les manipulations tout en conservant une bonne robustesse pour éviter les *bugs* impliqués par cette ouverture) facilitait paradoxalement sa prise en main et donc le rendait plus "simple" à utiliser. La raison principale observée, c'est que l'outil est devenu plus flexible et donc plus capable de s'adapter à différentes situations et aux différents scénarios des utilisateurs.

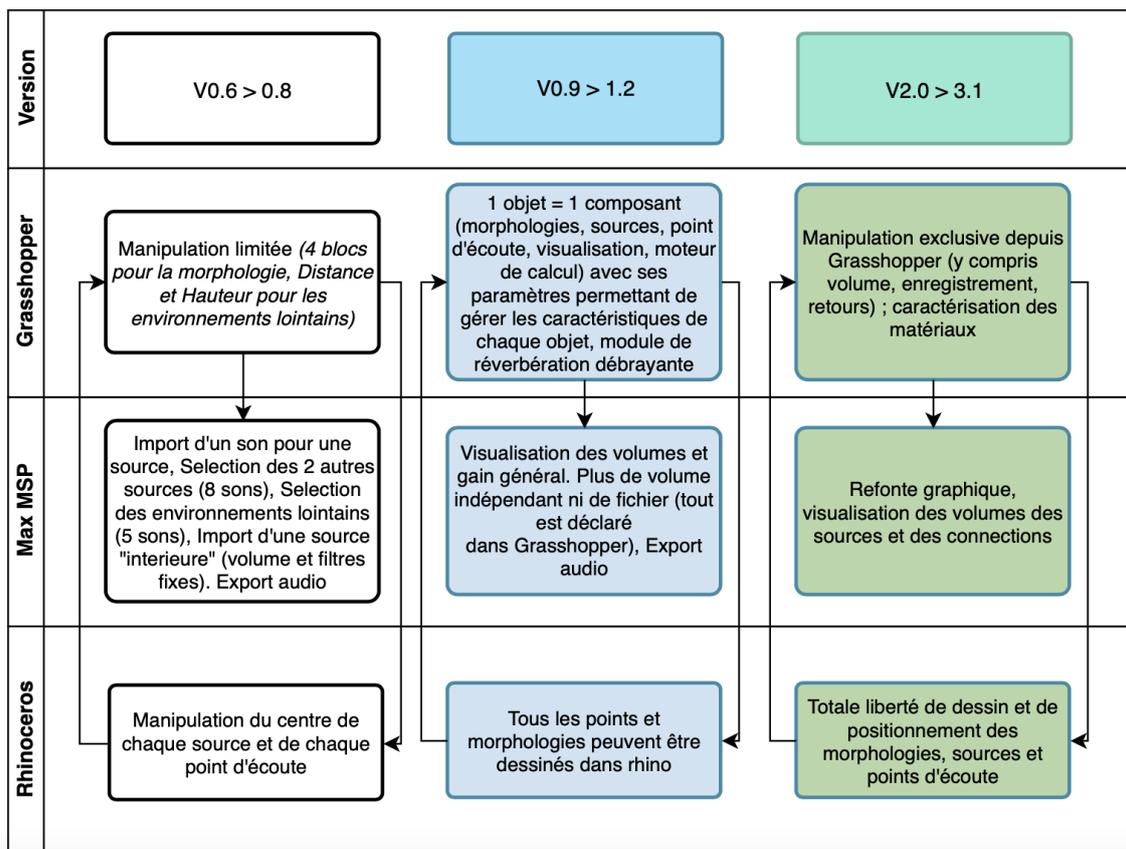


FIGURE 5.12 – Diagramme simplifié des manipulations possibles selon les trois logiciels mobilisés et les versions de l'outil Esquis-Sons

Nos itérations successives nous ont également montré qu'une interface unique de modification facilitait la manipulation des utilisateurs. Pour cela, nous avons fait le choix d'une diminution des actions de l'utilisateur dans Max/MSP pour plus de réglages et paramètres accessibles depuis Grasshopper. Un des choix de manipulation a également été de faciliter l'intégration de formes complexes, mais aussi et surtout l'intégration des morphologies et des points directement dessinés dans Rhino, ce

qui permet à l'utilisateur de facilement transformer une scène spatio-sonore dans le modèle et ainsi d'entendre directement le résultat de ces modifications<sup>23</sup>

Les manipulations sont également directement liées aux paramètres que l'utilisateur peut utiliser et modifier pour qualifier les éléments de l'esquisse sonore. Nous avons ainsi cherché à proposer le plus de paramètres disponibles pour chaque objet tout en conservant l'idée d'une esquisse simple et non d'une simulation trop détaillée pour pouvoir être employée en début de projet. Cet arbitrage subtil s'est fait de deux manières. Nous avons tout d'abord limité l'accès à certains paramètres soit en les rendant inaccessibles (proposer à l'utilisateur d'entrer le coefficient alpha-sabine pondéré plutôt que le matériau et sa mise en œuvre par exemple), soit en jouant d'une abstraction (on ne peut pas avec *EsquisSons* informer sur l'indice d'affaiblissement acoustique d'un objet, on ne déclare qu'une opacité théorique). L'autre stratégie est de proposer pour chacune des valeurs obligatoires au calcul et à l'auralisation de l'esquisse des valeurs par défaut "moyennes"<sup>24</sup>. Ce choix permet de ne pas se retrouver face à une esquisse non fonctionnelle si l'on n'a pas informé les matériaux du modèle par exemple. Cela permet également de révéler des incohérences acoustiques à l'écoute et donc de sensibiliser à l'importance d'un paramètre qui dans sa valeur par défaut ne correspond pas à ce que l'on attend comme résultat sonore.

*«Les outils les plus performants suivent une philosophie qui a été le mieux résumée par le fondateur d'Atari lorsqu'il décrivait ses jeux vidéo les plus populaires : ils sont "simples à apprendre mais impossibles à maîtriser" (Bogost 2009). En suivant ce mantra, l'intense modularisation, la personnalisation et le fait de rendre visibles toutes les options d'un outils doivent être équilibrées par de nombreuses options par défaut »<sup>25</sup> (Mackey & Sadeghipour Roudsari, 2018)*

Il reste néanmoins nécessaire d'informer certaines entrées comme la position du point d'écoute, le contexte spatial à travers une morphologie 3D (au minimum un sol) et un son (extérieur ou intégré à l'outil) pour une source. Ces minimums permettent non seulement d'avoir un son à entendre, mais aussi de contextualiser l'écoute par la position de l'écouter et l'espace qui va la moduler<sup>26</sup>

---

23. Tableau détaillé des évolutions et des retours proposés par l'outil en deuxième annexe A.2 page A.2.2, page 253,

24. Ces valeurs moyennes sont des valeurs que nous avons testées pour qu'elles soient cohérentes dans un grand nombre de configurations types

25. Traduit par l'auteur

26. Les paramètres et la description des composants sont disponibles en deuxième annexe A.2, page 250,

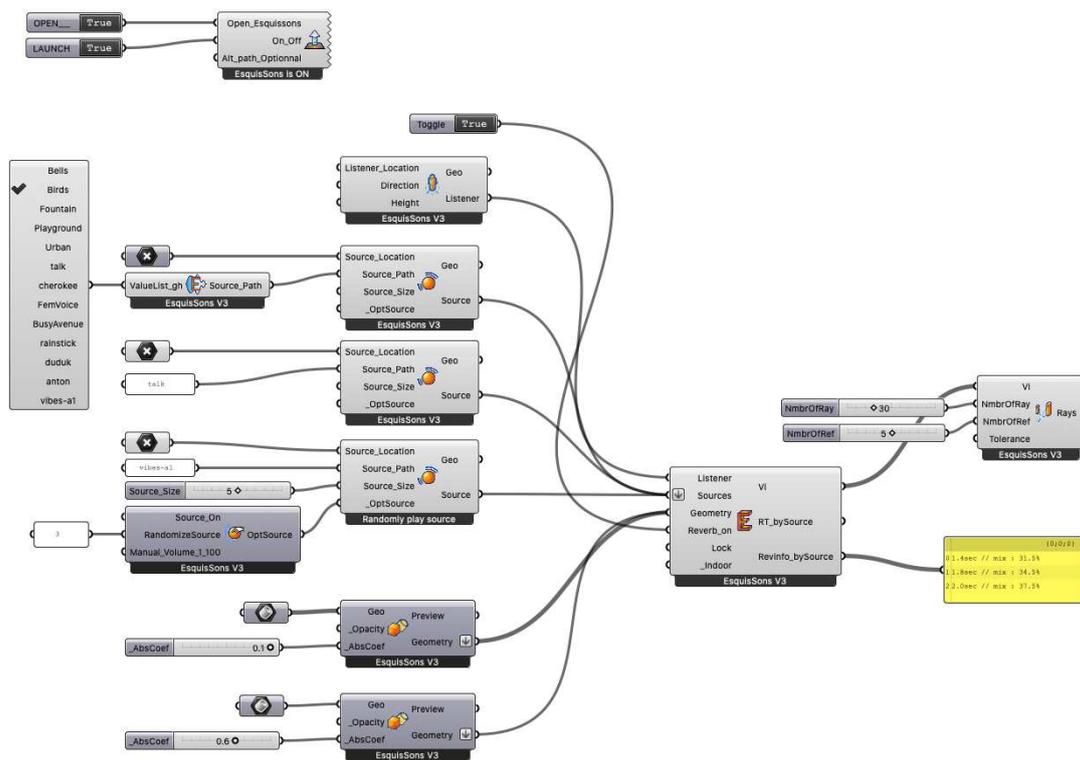


FIGURE 5.13 – Forme actuelle de l’outil EsquisSons en application (1 point d’écoute, 3 sources, 2 environnements construits, le moteur de calcul et une visualisation des réflexions

### 5.3.2 Choix des calculs qui permettent l’auralisation

Pour passer de la donnée numérique et géométrique au son entendu, il a fallu choisir et mettre en place un ensemble de règles de calculs à la fois dans Grasshopper et dans MAX/MSP. Pour cela nous avons choisi d’associer des règles acoustiques disponibles dans la littérature et permettant de cadrer les choix, puis d’appliquer des transformations ou des simplifications afin de nous rapprocher d’une cohérence à l’écoute dans le contexte d’esquisse. Ces "décalages" par rapport aux modèles ont été faits par étape, au fil des utilisations, mais aussi par des comparaisons avec des situations existantes que nous avons pu reproduire avec l’outil<sup>27</sup>.

27. Voir par exemple ici "Analyse de l’existant, piste et comparaisons" : section 7.2, page 192, ou encore "La balade sonore revisitée" : section 7.3, page 193,

## Filtrage et atténuation avec la distance

On récupère dans un premier temps dans le modèle 3D (depuis Grasshopper 3D) les distances des points d'écoutes aux sources sonores de manière à moduler ces dernières : L'inverse de la distance est utilisé pour informer le niveau de gain appliqué à chaque source de manière à réduire celui-ci proportionnellement à la distance. Cet inverse est également utilisé pour informer la fréquence de coupure d'un filtre passe-bas permettant ainsi de simuler la diminution de perception des aiguës liée à un éloignement<sup>28</sup>. Des facteurs multiplicatifs (X et Y) sont appliqués à l'inverse de la distance pour obtenir une valeur de gain et une fréquence de coupure<sup>29</sup>. Ces facteurs sont notamment déterminés par la source qui, selon son type peu les faire varier si elle est ponctuelle ou linéaire<sup>30</sup>. On néglige ainsi l'absorption de l'air dans notre calcul pour pouvoir appliquer la même formule à tous les cas de figure, puis l'on pondère par une modulation de fréquence selon la distance. On a alors la formule suivante qui permet de déterminer la diminution de gain en décibel :

$$X * \log_{10}(1/Distance)^{31}$$

avec  $X = 20$  pour les sources ponctuelles et  $D =$ Distance de la source au point d'écoute. La fréquence de coupure est quant à elle déterminée par

$$1/D * Y$$

avec  $Y = 15000$  ce qui permet d'avoir une fréquence de coupure allant de 15 000 Hz à 150 Hz au maximum<sup>32</sup>. Cette variable ainsi que la pente de décroissance du filtre ont été déterminées de manière empirique : à l'écoute et en comparant avec différents scénarios réels et imaginaires puis en évaluant leur cohérence. Les valeurs ont également été ajustées au fil du développement et des terrains d'expérimentation avec l'outil. Nous avons fait volontairement le choix de ne pas mobiliser les modèles d'absorption atmosphérique en fonction de la fréquence de la source<sup>33</sup> qui impliquent un certain niveau de précision et augmentent également le nombre de paramètres

28. « On remarque une évolution de la forme des spectres avec la distance de propagation. Les niveaux sont plus fortement atténués aux hautes fréquences qu'aux basses fréquences, en raison notamment de l'augmentation du coefficient d'absorption atmosphérique avec la fréquence acoustique » (Cotté, Blanc-Benon, Cremezi-Charle, & Poisson, 2007)

29. La fréquence de coupure correspond à la valeur en hertz à laquelle le filtre va faire diminuer l'intensité sonore selon une pente plus ou moins importante

30. EsquisSons ne propose malheureusement pas encore la possibilité de faire des sources linéaires mais c'est une fonctionnalité qui a été prévue pendant le développement

31. On se base ici sur la formule de calcul d'affaiblissement entre deux point :  $Affaiblissement = 20 * \log(DistanceInitiale/DistanceFinale)$  Avec une distance de 1 mètre comme distance de base pour le calcul

32. Il ne s'agit pas d'une coupure nette : la pente de décroissance est également relative à la distance pour éviter une coupure trop forte avec les grandes distances

33. Voir les modèles représentés sous forme graphique dans l'article de Bass (Bass, Sutherland, & Zuckerwar, 1990) et les calculs associés

nécessaire aux calculs, ce que nous voulions éviter au maximum pour conserver un outil d'esquisse fluide et immédiat pour l'architecte.

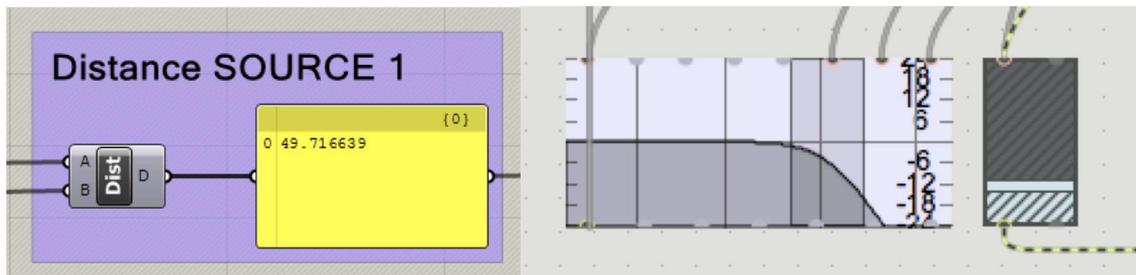


FIGURE 5.14 – illustration des mesures des distances (Grasshopper) et des modulateurs de gain et de fréquence (MAX/MSP) [non visibles dans l'interface]

### Latéralisation du son

Ensuite au moyen d'une triangulation (une double mesure des distances à la source), on est capable de spatialiser les sources à gauche et à droite. Pour cela, nous générons un triangle depuis l'écouter duquel on extrait les deux extrémités (gauche et droite), puis on calcule la distance de chacun des points à la source, et on soustrait une distance à l'autre pour gérer le ratio des panoramiques. On envoie la valeur relative extraite du modèle 3D à Max/MSP, et ce dernier va la réassigner dans un domaine entre -1 et 1 pour appliquer ensuite un décalage plus ou moins fort dans les panoramiques.

### Les masses et les masques

Pour chacune des sources que l'utilisateur a positionné dans l'esquisse, nous allons calculer les masques potentiels et ainsi la diminution voire la disparition d'une source selon le point d'écoute. Nous procédons pour cela à une évaluation des intersections avec l'environnement en traçant une ligne de l'écouter à la source.

Pour conserver les panoramas sonores auxquels peuvent s'appliquer les masques une série de ligne est tracée entre la source et les points à gauche et à droite de l'écouter (voir figure 5.15, page 125, ). A partir de celles-ci, il s'agit d'extraire le nombre d'intersections avec les éléments environnants : plus il y a d'intersection, plus le rapport devient haut. On opère ensuite à une soustraction sur 1 pour inverser ce rapport (par exemple :  $1 - 0,48 = 0,52$ ) qui va nous servir de référence pour quantifier le son non masqué et cela de manière "latéralisée".

On multiplie enfin ce résultat par 100 afin de retrouver un pourcentage (*ici 52*) et ce dernier est communiqué au module de Max/MSP qui gère un volume paramétré sur une échelle de 0 à 100 pour chaque canal stéréo et pour chaque source.

Là encore, cette méthode simplifiée est le fruit d'un travail empirique de test, d'essai erreur et de transformations pour aboutir à un résultat plus cohérent à l'écoute qu'avec la formule initiale (Affaiblissement =  $10 * \log_{10}(408 + X/1632 * X)$  - avec  $X = \text{Masse volumique du masque} * \text{Vitesse du son dans le masque}$ <sup>34</sup>) qui impliquait de simplifier les paramètres d'entrée (la vitesse notamment) pour une fois encore ne pas alourdir l'outil, mais nous donnait des résultats peu cohérents à l'écoute.

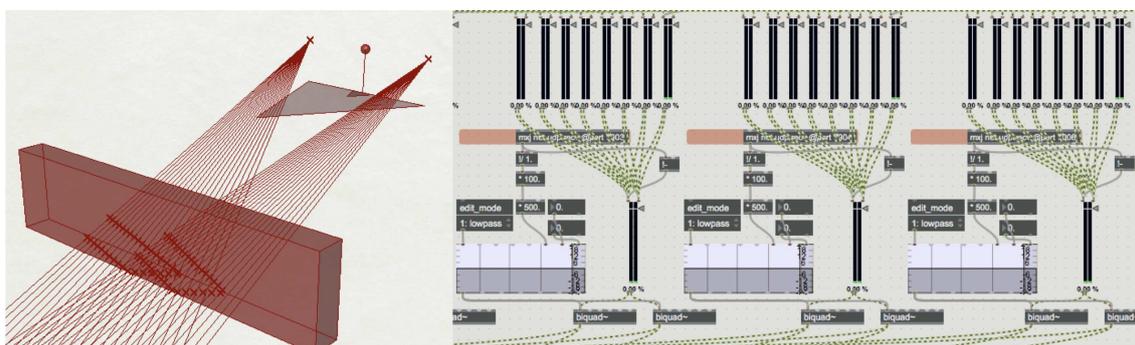


FIGURE 5.15 – Illustration des intersections et des potentiomètres associés dans MAX [non visibles dans l'interface]

Nous avons pu constater au fil des évolutions qu'il était important, pour conserver un état d'esprit d'esquisse, d'éviter de travailler avec des banques de matériaux préréglés qui impliquent de faire un choix avant même d'avoir entendu. Ici le choix se fait uniquement dans une perspective acoustique qu'il s'agira ensuite de pondérer et d'interroger dans le projet au regard des autres enjeux. Cela permet au concepteur de penser très vite à partir du son et de le mobiliser comme un matériau de l'espace et de ses ambiances.

On a donc choisi d'assigner aux morphologies qui structurent l'espace et opèrent comme des masques, un degré d'opacité "théorique" qui peut varier d'un objet complètement opaque à un objet totalement transparent. Cette caractéristique remplace la masse volumique et la célérité du son dans cette masse, et ajoute une nuance à notre calcul simplifié.

La complexité réside ici dans l'interdépendance et l'interférence des différents éléments (sonores et spatiaux) les uns avec les autres. Ainsi, comme nous l'avons vu, chaque élément de l'esquisse fonctionne comme un « objet sonore » auquel on assigne des caractéristiques qui alimentent les calculs afin de faire entendre la scène.

34. On se base ici sur une masse volumique moyenne de l'air à  $1,2 \text{ kg/m}^3$  et une vitesse dans l'air à  $340 \text{ m/s}$

La prise en compte d'une opacité pour chaque masque nécessite donc de ne plus effectuer une mesure et un calcul par source, mais bien par source et par élément « construit ». Ainsi chaque volume dans le modèle va pondérer son propre masquage par un facteur de multiplication correspondant à son degré d'opacité (déclaré de 1 à 10 dans *EsquisSons*)

## Propagation et réverbération

Enfin, pour permettre à l'esquisse de rendre compte au mieux de la propagation des sons dans l'espace, il a été nécessaire de travailler un module de réverbération capable à la fois de s'adapter à des environnements extérieurs « ouverts » (type cœurs d'îlots, rue, terrasse) et à des environnements intérieurs « fermés » (de type pièces et circulations). Pour pouvoir calculer le temps de réverbération, on a choisi d'utiliser comme base la formule de Sabine qui consiste à l'estimer à partir du volume « dans » lequel sonne l'esquisse, les surfaces qui composent ce volume et leurs caractéristiques d'absorptions<sup>35</sup>. Ce calcul simple a ensuite été légèrement modifié de manière à prendre en compte ce que l'on a appelé le « degré d'ouverture » de l'espace que l'on esquisse. En effet, dans des espaces ouverts, une partie du volume n'est pas définie et une partie des surfaces qui le compose non plus.

Pour évaluer le degré d'ouverture d'un environnement ouvert, nous proposons d'évaluer un ratio entre surface vide et surface construite que nous caractérisons ensuite par des degrés d'absorption différents<sup>36</sup>. Nous avons pour cela besoin d'extraire le volume dans lequel s'inscrit la scène sonore puisque celui-ci n'est pas seulement dépendant du modèle, mais aussi de la position des sources et/ou de la position de l'écouter ; on va alors découper l'espace qui est dessiné pour, d'une certaine façon, n' "utiliser" dans le modèle de réverbération que ce qui est utile à la scène esquissée<sup>37</sup>. On allège alors les calculs et l'on s'approche d'un résultat plus cohérent : l'ensemble d'une configuration urbaine ne doit pas forcément être pris en compte pour rendre compte d'une source localisée proche de l'écouter dans un sous espace avec une acoustique qui lui est propre ; à l'inverse une source lointaine peut-être beaucoup plus teintée d'une configuration urbaine particulière avant d'arriver aux oreilles de l'écouter.

---

35. "Formule exprimant le temps de réverbération (Tr) en secondes d'un local en fonction de son volume (V) en m3 et de son aire d'absorption équivalente (A, calculée au moyen du coefficient de Sabine) :  $Tr = 0,16V/A$ " (Roy & Blin-Lacroix, 2011)

36. On considère que toutes les surfaces de "vide" ont un coefficient d'absorption maximum (1) pour simuler le fait qu'aucune énergie sonore n'est renvoyée par ces dernières

37. dans un même modèle, la position de l'écouter ou des sources peut ne pas mobiliser l'ensemble des volumes et des surfaces pour établir la réverbération : voir figure 5.16, page 127,

Pour cela, on choisit de travailler sur la base d'une projection de rayons (et de leurs réflexions) partant des différentes sources et allant jusqu'à l'écoutant. Cela nous permet de déterminer quelles surfaces des géométries entrent en jeu dans la configuration évaluée. On compare pour cela les points d'intersection entre rayons et géométries et si les volumes sont concernés, alors ils font partie de la « scène de réverbération » pour cette source. Il s'agit là encore d'une approximation, mais qui permet à l'écoute de rendre compte des échelles sonores de chaque "saynète" spatio-sonore qui composent la scène globale de l'esquisse.

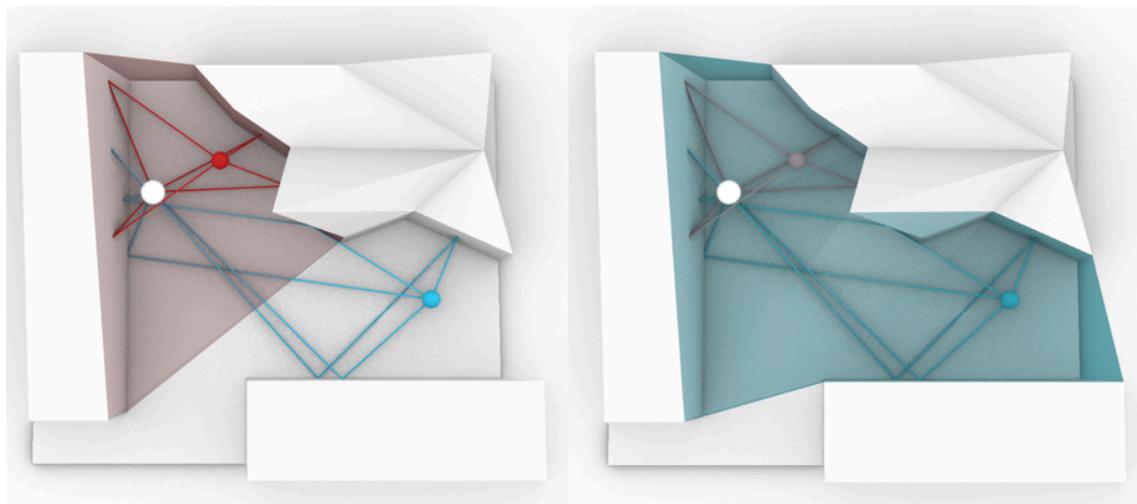


FIGURE 5.16 – Illustration du principe de prise en compte de volumes et des surfaces utiles aux calculs selon la position des sources par rapport à l'écoutant et aux espaces modélisés

On génère sur la base de ces sélections ce que l'on appelle une « bounding-box »<sup>38</sup>. La « boîte » ainsi générée permet de déterminer le volume global dans lequel s'inscrit l'esquisse sonore. L'aire globale de ce parallélépipède va également nous servir de référence pour évaluer le degré d'ouverture de notre scène. Si on lui retranche la somme des aires des surfaces construite, alors on peut estimer le ratio ouvert / fermé de la scène.

Pour la suite du calcul, on détermine par la même méthode de projection et de rebond de rayons quelles surfaces de chaque volumétrie doivent être prises en compte pour le calcul de réverbération et on en récupère son coefficient d'absorption spécifique (informé par l'utilisateur) ou générique (valeur par défaut).

38. C'est-à-dire un volume parallélépipédique englobant toute la morphologie que l'on a précédemment isolée comme « scène de réverbération ». On pourrait traduire ce terme « boîte de sélection » par analogie avec le cadre de sélection

Avec l'ensemble de ces informations directement données par l'analyse de la géométrie, la position des sources et de l'écouter, et éventuellement les coefficients d'absorption donnés par l'utilisateur, on peut alors, sur la base de la formule de Sabine extraire un temps de réverbération en millisecondes théorique et spécifique à chaque source :

$$TR = 1000 * (0.16 * box) / (Builtareaabs + (EmptyArea * 1)) \quad (5.1)$$

Avec

$$Builtareaabs = \sum_n (Surface_n * Coefficientd'absorption_n)$$

$$EmptyArea = BoundingBoxSurface - \sum_n (Surface_n)$$

L'utilisateur pouvait initialement choisir d'utiliser la formule de Eyring, mais nous avons masqué cette fonctionnalité qui s'est avérée très peu utilisée et qui complexifiait le rapport au composant de calcul<sup>39</sup>

Ces mesures et calculs nous permettent ensuite via MaxMSP d'appliquer une réverbération correspondant à cette valeur de TR. Le rapport entre son direct et le son réverbéré est appliqué par un pourcentage de cette réverbération sur le son. Ce pourcentage est calculé là encore avec la méthode du lancé de rayon : on extrait ainsi le ratio entre le nombre de rayons qui arrivent à l'écouter depuis une source et ceux qui se réfléchissent sur les parois en évaluant le nombre de réflexions nécessaires pour arriver dans une sphère autour du point déclaré dans le modèle comme "écouter".

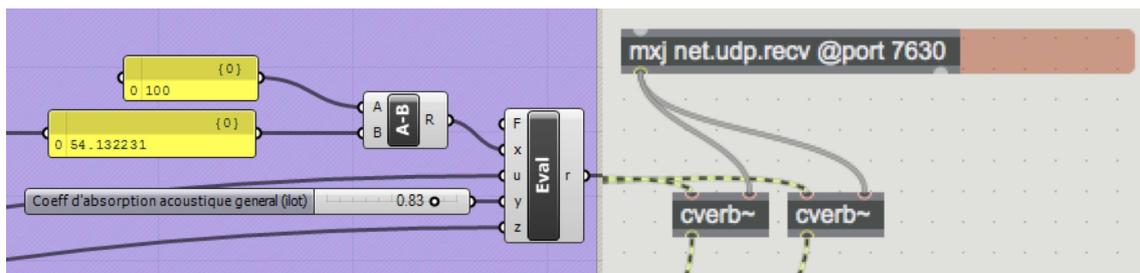


FIGURE 5.17 – Illustration des calculs de reverberation grasshopper puis dans MAX/MSP [non visibles dans l'interface]

Dans les premières versions de l'algorithme, nous avons choisi d'appliquer différents types et temps de réverbération relatifs aux proportions des différentes réflexions reçues par l'écouter (première réflexion, seconde réflexion, etc.). On a par

39. Le calcul est toujours présent dans le script et correspond à :  $TR = -(0,16 * box) / (BuiltArea * (\log(1 - Oalpha)) + EmptyArea * (\log(0.01)))$

la suite délibérément simplifié le calcul afin de rendre compte de manière plus claire des effets de l'espace sur la réverbération en s'éloignant légèrement d'une simulation « fidèle » qui dans la réalité, en plus de générer plus facilement des *bugs* et d'alourdir le calcul, rendait peu lisible l'impact des morphologies sur l'écoute des réverbérations. Dans l'esprit d'un outil d'esquisse, on applique donc une seule réverbération (temps de réverbération) et une seule proportion (mix du son direct et du son réverbéré) qui correspond au rapport entre le son direct et les premières et deuxièmes réflexions. Cela permet de simplifier les choses, notamment dans le cas de morphologies complexes et surtout de forcer légèrement le trait (dans un sens comme dans l'autre) afin de rendre plus perceptibles les transformations de l'espace dans le modèle.

Enfin, en plus de pouvoir entendre le temps de réverbération et les proportions de premières et secondes réflexions sur les sources, on a fait le choix de rendre disponibles ces informations quantitatives afin que l'utilisateur puisse les récupérer (notamment pour pouvoir faire des itérations ou des optimisations en tendant vers un résultat). Un dernier composant permet également de visualiser directement dans grasshopper et dans rhino les réflexions dans le modèle. Cette fonctionnalité ne devait pas être présente initialement, mais après l'avoir extraite spécifiquement pour aider un groupe dans la représentation de leur travail, nous nous sommes rendu compte de l'impact positif sur leur utilisation d'*EsquisSons*. Nous avons donc décidé de rendre la visualisation disponible, mais pas directement dans le moteur de calcul et plutôt à travers un autre composant pour bien différencier les étapes de travail.

### 5.3.3 Autres évolutions techniques

Toutes les transformations que nous avons présentées dans les sections précédentes (Interface utilisateur, choix des paramètres, règles de calculs) transforment profondément l'expérience de l'outil, sa prise en main mais aussi ce qu'il est possible de faire avec. Cela nous a permis de tendre vers notre objectif d' "aider" à la prise en compte des sons dans la conception, mais aussi de tester ses potentialités. Pour cela nous avons notamment dû réécrire la quasi-totalité de l'outil dans le langage Python afin d'optimiser les calculs et de rendre possible un certain nombre de nouvelles fonctionnalités. Cette transformation majeure de l'outil et ce changement de méthode de développement a nécessité pour nous l'apprentissage d'un nouveau langage et de son intégration avec l'écosystème logiciel Rhinoceros/grasshopper/MaxMSP que nous avons mis en place. Cette longue étape ne sera pas détaillée dans cette thèse puisque trop éloignée de notre problématique et de nos enjeux disciplinaires, les codes sources sont néanmoins disponibles en annexe et sur la page github de l'outil<sup>40</sup>.

---

40. Voir page 256 en Annexe et sur <https://github.com/TheoArchi/EsquisSons> (consulté le 26 septembre 2021)

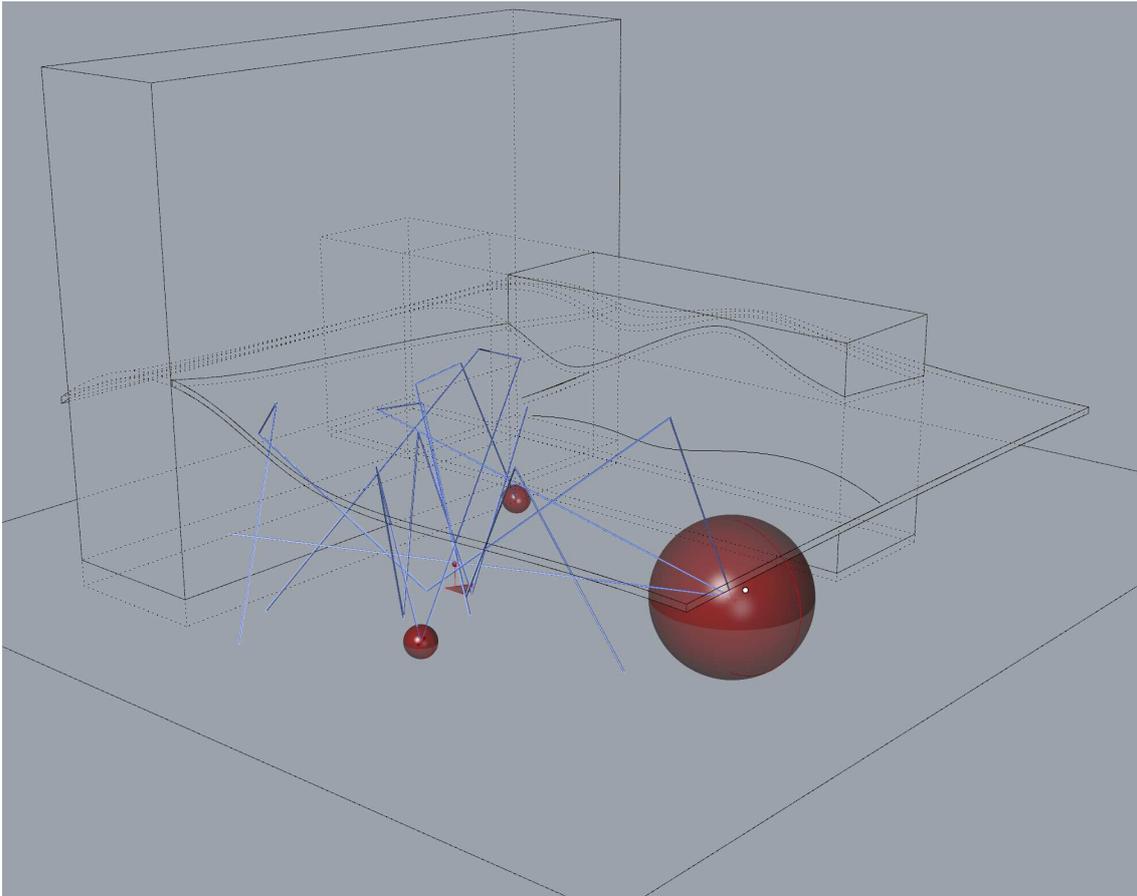


FIGURE 5.18 – Exemple d'une visualisation des premières, deuxièmes et troisièmes réflexions avec *EsquisSons*

### 5.3.4 Transformations et objectif global

Le point de départ de ce travail de développement a été de donner la possibilité de travailler l'espace à partir du son "à entendre". Pour cela, comme nous l'avons dit nous avons utilisé des outils permettant à la fois de générer et d'analyser des morphologies, de la qualifier, puis ensuite de générer et de moduler des sons sur la base de calculs géométriques et mathématiques. Toutes ces interactions, en apparence faisables "facilement" ont du être lourdement et longuement transformées pour s'adapter à une utilisation "large" et distribuée à tous. Ainsi, en exportant notre première version de l'outil, fonctionnelle sur notre machine, dans notre écosystème logiciel et avec nos schèmes d'utilisations personnels, nous avons découvert les contraintes de la mise à disposition de tous et procédé par essai erreur et par apprentissage pour arriver à un résultat fonctionnel et robuste. Bien que tout ce travail ne soit pas directement associé à nos compétences disciplinaires d'architecte, on a pu constater un lien fort entre le développement logiciel et le contenu proposé, entre la forme et le fond, et c'est pour cette raison qu'il nous a semblé important,

au-delà du temps mobilisé pour ce pan du travail, de présenter ici ces temps comme un corpus.

Toutes ces évolutions de l'outil apportent des éléments d'amélioration à leur échelle, mais visent également un objectif global dans la manipulation, l'utilisation, l'écoute, et les résultats retournés par ce dernier. L'outil doit être facile d'accès, et capable de remplir son objectif, c'est-à-dire faire entendre l'esquisse sonore de ce que l'on dessine. À partir de ce point, l'utilisateur peut s'emparer de l'outil, affiner ses choix, voir détourner certains calculs, certaines options, et cela jusqu'à la finalité même de l'outil.

## 5.4 Le solfège d'EsquisSons

À la suite des éléments présentés qui construisent une première partie des résultats sur le développement de l'outil, on propose ici une partie sur des résultats plus "opérants". Cette section prend ainsi la forme d'un catalogue qui illustre les différentes « manières » de faire de l'esquisse sonore avec EsquiSons et présente, sous une forme plus structurée, un résumé des possibles de l'outil testés et amendés tout au long du développement.

Le terme « solfège », emprunté notamment au « solfège de l'objet sonore » de Pierre Schaefer (Schaeffer, 1998) nous permet de faire écho à la fois à la facette « introductive » que pourrait avoir ce catalogue des possibles, sorte de guide de lecture d'un outil d'esquisse sonore pour débutant (comme le solfège l'est pour la musique), mais aussi à la dimension fondamentale, fondatrice, et qui relève plutôt de la langue. Celle-ci permettant de créer et de communiquer selon une grille de lecture et des enjeux communs.

### 5.4.1 Le vocabulaire (description des composantes de l'outil)

Afin d'écrire un langage de l'esquisse sonore, il nous faut extraire les éléments qui feront office de vocabulaire et pour cela élaborer des critères de repérage et de sélection. Comme nous parlerons plus tard des conditions et potentiels d'utilisation, nous allons tâcher ici de n'extraire que des principes de fonctionnement qui permettent l'élaboration de l'esquisse. Ainsi notre "vocabulaire" se construit autour de trois grands "thèmes" qui construisent ensemble l'esquisse sonore. Même si elles ne sont pas forcément homologues, ces grandes thématiques qui composent l'esquisse sonore ont pour objet de pouvoir s'articuler entre elles et de se compléter pour faire "sens".

## Le son

Le son, c'est d'abord le commencement d'une expérience sensible dans le ventre de la mère (Anzieu, 1976), c'est aussi là que commence notre travail ; on aurait pu dire : "au début il y avait le son", cette '*primeur*' particulière que l'on a accordée à ce phénomène physique et qui a construit petit à petit le développement de notre outil. Pour pouvoir entendre une esquisse sonore, il faut avant tout du son ; cette partie de notre vocabulaire se décline de manière simple sous la forme de composants que l'on appelle les sources (« émetteurs » dimensionnés et positionnés dans le modèle spatial). Ces sources sont associées à des sons, et ce sont eux qui vont mettre en vibration l'esquisse. Si l'on voulait faire une analogie musicale, alors dans cette mélodie qu'est l'esquisse sonore, les sons en seraient les instruments ; sources de son déjà définies, mais encore "immaculées". Depuis ces sources tout est encore possible car vous pouvez tout à fait y jouer ce qu'il vous plaît.

## La morphologie (forme et matérialité)

La forme et la matière, c'est le deuxième élément constitutif de l'esquisse. Ce que l'on regroupe ici sous le terme "*morphologie*" correspond de manière pragmatique au modèle, représentation 3D de l'espace. Il prend dans notre outil d'esquisse la forme de composants à plusieurs entrées qui permettent d'informer l'objet 3D et ses caractéristiques matérielles et/ou acoustiques<sup>41</sup>. On peut parler de ce modèle comme la condition : c'est l'environnement qui va accueillir l'esquisse, qui va la rendre possible. Forme et matière vont également la construire - la modeler - pour lui donner sa « forme sonore », car c'est quand le son va se frotter à l'espace qu'il va se proposer à l'écoute. L'espace, c'est le musicien dans notre métaphore. Il module, accentue, détourne, fabrique les sonorités à partir de la matière sonore brute que fournit l'instrument. Il fait "sonner" l'instrument et le donne à entendre.

## L'écoute

Enfin, le dernier élément de notre triptyque, c'est l'écoute. Car si l'espace sonore peut-être entendu, comme nous l'avons notamment développé dans les premiers chapitres, c'est par la "posture d'écoute" du corps percevant que se fabrique l'esquisse sonore. Il s'agit alors pour l'utilisateur de se mettre dans une condition d'écoute qui va mobiliser son attention auditive et influencer sa manière de percevoir cette esquisse. Cette écoute se manifeste d'abord dans l'outil par un "écoutant" que l'on dimensionne et que l'on place. Ce dernier, associé aux sources et au modèle constituent les spécificités d'un outil d'auralisation. Ainsi, il est nécessaire de choisir et de

---

41. Là encore, on cherche à rendre l'outil fonctionnel quel que soit le niveau de définition du projet, ainsi il est possible pour l'utilisateur d'informer des caractéristiques précises, mais aussi d'utiliser des indices plus flous ou encore de laisser libres les entrées qui seront ensuite corrigées à l'écoute.

positionner un son, de caractériser une ou plusieurs géométries 3D, et enfin de placer et de dimensionner un point d'écoute pour être en mesure d'entendre, puis d'écouter l'esquisse sonore. Ce troisième et dernier point s'apparente dans notre analogie au système auditif physico-cognitif (*du musicien ou du spectateur*) à la fois récepteur et filtre du son produit par le jeu sur l'instrument.

### 5.4.2 Les effets principaux

Nous souhaitons présenter ici ce qui constitue véritablement le « solfège » d'*EsquisSons*, les effets produits, les configurations sonores écoutées et les types de dispositifs ou d'espace testables. Pour rester dans l'analogie du langage, il s'agit ici de la grammaire de l'outil.

Les effets correspondent à des types de modulations du son connues et souvent analysées et/ou reproduites dans le monde de l'acoustique ou de la musique. On fait le choix ici de baser notre catégorie « effets » en grande partie sur des éléments préexistants et que l'on retrouve notamment dans le répertoire des effets sonores développé par le laboratoire CRESSON en 1995 (Augoyard & Torgue, 1995). Celui-ci avait déjà pour objectif initial non pas de fabriquer un « concept » mais bien une ressource interdisciplinaire à destination de l'analyse, la représentation et l'intervention architecturale ou urbaine.

Nous allons ainsi sélectionner, à partir de ces ressources les différents effets qu'il est possible de faire entendre à travers *EsquisSons*. Cette liste a également pour intérêt de porter un regard nouveau sur ces effets. Ainsi, l'outil permet des modalités d'écoute différentes de celles de l'écoute *in situ* comme la possibilité d'une écoute comparative quasi-instantanée entre des configurations ou encore entre des positions. Il permet également une approche différente de cette notion d'effet qui devient une matière malléable : on peut avec lui tester quel(s) élément(s) de l'environnement influent -et à quel degré- sur l'effet que l'on a identifié. Cette propension à la « composition » d'une configuration incite également à parler d'un solfège plus que d'un répertoire ; un solfège composé d'effets et de configurations.

### Réverbération

*Exemple audio disponible dans la quatrième annexe A.4.1, page 284,*

L'effet de réverbération est l'effet le plus "commun" lorsque l'on parle de son et d'espace puisqu'il illustre instantanément le rapport ténu qui existe entre les deux. Qu'il s'agisse des volumes, des morphologies ou encore des matériaux, tous ont une influence sur la réverbération de l'espace et cette dernière renvoie, par les souvenirs et les représentations, à la perception d'un lieu (on est tous capables par exemple de se représenter l'acoustique réverbérante d'une église, celle d'un hall de gare ou

encore d'une pièce "matifiée" par du mobilier. Néanmoins, au-delà des caricatures, la réverbération dans l'espace se constitue de nuances plus subtiles et plus qu'un "effet" exceptionnel, elle est une caractéristique continue, quotidienne des environnements que nous vivons, qu'ils soient intérieurs ou extérieurs. En cela il est nommé par Jean-Pierre Odion "effet élémentaire" puisqu'il a un rôle fondamental pour de nombreux autres effets (Augoyard, 1987).

Cette spécificité et le temps nécessaire au calcul nous ont conduits à ajouter un "interrupteur" dédié dans l'outil permettant d'activer ou de désactiver le calcul de réverbération. En effet lorsque l'on modélise des morphologies complexes, calculer la réverbération peut parfois prendre plusieurs secondes et donc alourdir la fluidité du travail. De plus lorsque l'utilisateur choisit d'intégrer des sources sonores qu'il a captées *in situ*; celles-ci sont déjà teintées d'une réverbération qu'il s'agit parfois de ne pas "sur-informer" par une couche logicielle supplémentaire<sup>42</sup>.

## Coupure

*Exemple audio disponible dans la quatrième annexe A.4.2, page 285,*

L'effet de coupure est particulièrement associé à la dimension "compositionnelle" de l'ambiance en amenant des transformations soudaines de l'environnement sonore par des écarts d'intensité. Cet aspect est spécialement important ici puisqu'il mobilise certains aspects spécifiques à la notion d'ambiance que nous avons présentés précédemment. En effet on cherche avec *EsquisSons* à mobiliser le travail de composition qui va naturellement interroger des enjeux liés à la temporalité et à sa perception. L'effet de coupure permet notamment d'esquisser ici des rythmes de perceptions à travers des séquences articulant espace et temps via le médium sonore et la représentation du modèle 3D. Grégoire Chelkoff précise dans le répertoire des effets sonores que l'effet de coupure est "un des grands modes d'articulation sonore entre les espaces et les lieux [puisqu'] il établit clairement le passage d'une ambiance sonore à une autre" (Augoyard & Torgue, 1995). Là encore effet élémentaire, il s'articule voire conditionne l'émergence d'autres effets. En complément des deux catégories "naturelles" de coupure initialement relevées dans le répertoire<sup>43</sup>, on propose une nouvelle catégorie "artificielle" de coupure qui permet de faire entendre l'effet par comparaison entre deux points dans le modèle. On peut ainsi "*basculer*" d'une écoute à l'autre, et donc percevoir par cet effet les différences notables entre deux configurations. Cette nouvelle potentialité permet si ce n'est une incitation, au moins une aide à la prise en compte de différentes échelles de perception par le tra-

42. Une piste d'évolution en cours de travail consiste notamment à proposer un réglage de "proportion" de cette réverbération logicielle dans l'auralisation afin de permettre un meilleur contrôle de cette dernière.

43. Au niveau de l'émission (coupure de la source) ou au niveau de la propagation (organisation de l'espace)

vail de configurations spécifiques et de leurs articulations dans une dimension plus globale. L'effet de coupure devient ici un outil de composition de comparaison et d'ajustement des ambiances sonores à l'intérieur d'un espace ainsi qu'à l'articulation de plusieurs.

### **Masquer - Demasquer**

*Exemple audio disponible dans la quatrième annexe A.4.3, page 286,*

L'effet de masque décrit l'effet d'un ou de plusieurs sons qui viennent en masquer un autre. C'est un effet très courant dans la perception sonore des environnements qui s'explique soit par des différences de niveaux très fortes (*le passage d'un TGV va masquer une conversation par exemple*), soit par des fréquences proches. On notera quand même qu'il est très difficile pour un son émis sur une large bande de fréquence de masquer un son qui est focalisé sur une bande de fréquence très précise. On peut également exprimer l'effet de masque à différents degrés puisqu'un son peut-être partiellement masqué par un autre, comme brouillé, ou encore complètement effacé. Cet effet est mobilisé avec *EsquisSons* de manière un peu particulière puisque l'on constate plutôt des "démasquages" de certains sons par la transformation de configurations spatiales ou encore d'usages de ce même espace. En effet, lors de test de transformation de l'existant (voir les ateliers 2017/18 et 2018/19 pages 151 et 163), l'effet de masque apparaît dans la situation initiale et souvent comme un effet "gênant", que ce soit le son d'un axe de circulation qui masque des conversations, la porosité d'un îlot sur une place de marché, ou encore la proximité, non définie, de deux sources en intérieur. À cela des transformations permettent de répondre en diminuant voir en supprimant l'effet de masque par la mise à distance, la séparation ou encore la modification des usages. *EsquisSons* permet ici cette mise en valeur de l'effet de masque, très présent, et cela dans des contextes très variés, pour pouvoir le diminuer, ou l'adapter afin d'esquisser des espaces plus agréables ou plus cohérents dans leurs différents prismes sensibles.

### **Filtrage**

*Exemple audio disponible dans la quatrième annexe A.4.4, page 287,*

L'effet de filtrage est un effet qui transforme la courbe de réponse en fréquence d'un son ce qui a pour impact la modification de sa perception (en le mettant en avant ou au contraire en retrait par rapport au reste de la scène). On a vu qu'*EsquisSons* utilisait cet effet notamment pour appuyer la perception du proche et du lointain sonore et c'est particulièrement par rapport à cela que l'effet de filtrage est mobilisé et mobilisable dans l'outil. Il permet ainsi de qualifier les sons à travers leurs positions par l'écoute et non plus seulement par la mesure ou par la vue. Cet effet constitue

ainsi un élément important dans l'optique "compositionnelle" que peut représenter *EsquisSons* et dans le travail d'agencement entre les différents sons qui peuvent construire et qualifier un espace, un quartier voir un territoire par le sonore (*Voir Effet de distance page 137*).

## Métabole

*Exemple audio disponible dans la quatrième annexe A.4.5, page 288,*

L'effet de métabole peut-être écouter simplement comme l'addition des émergences entendues dans un même temps et un même espace formant à la fois un tout et un ensemble de parties à entendre. Cet effet, bien que très spécifique, s'avère très présent dans les esquisses sonores que nous avons pu observer puisqu'il relève d'une co-construction des usages et de l'espace. Il demande souvent un espace suffisamment réverbérant permettant de former acoustiquement un tout avec les parties (de "lier" la matière sonore), mais aussi un grand nombre de sources différentes pour faire entendre les parties dans le tout sans perturber l'effet de ce dernier. Le fait de pouvoir esquisser dans des espaces modélisés souvent fermés, ou à demi fermés et de pouvoir y positionner un grand nombre de sources mène rapidement à un effet de métabole dans l'écoute. Il s'agit souvent d'une étape de conception qui permet de rendre compte d'un espace trop grand, trop réverbérant, ou d'usages trop nombreux dans ce dernier. En entendant l'effet de métabole, l'utilisateur cherche alors à le transformer en qualifiant plus précisément certains usages ou en articulant mieux certains espaces (*Voir la section suivante "les configurations" sur les articulations*). À l'inverse, on a également pu constater la recherche de cet effet pour tendre vers l'anonymisation de certains espaces à la limite entre l'habitat et l'espace public par exemple.

### 5.4.3 Les autres effets

Parmi la liste d'effets préexistants à notre travail il en existe bien d'autres, mais nous avons fait le choix ici de ne présenter que les plus emblématiques de l'utilisation d'*EsquisSons* et donc d'un "vocabulaire" de travail avec l'outil. On pourra néanmoins retrouver et/ou recréer d'autres effets comme l'effet de couplage, de dilatation, ou d'irruption (*version "temporelle" de l'effet d'intrusion présenté plus loin*), de mixage ou encore d'ubiquité.

Ce qu'il est intéressant de noter c'est justement cette capacité de l'outil à esquisser des effets identifiés en amont, et étant constituant d'une perception de l'environnement sonore, ou comme le dit Jean François Augoyard, d'un paradigme : "idée à mi chemin entre l'universel et le singulier, à la fois modèle et guide, [qui] permet un discours général sur les sons mais [qui] ne peut se passer d'exemples". On retrouve

alors avec *EsquisSons* cette capacité à produire ou reproduire des effets qui sont en eux même une "manière" de classer des phénomènes (non clos) mais "donnant des indices précis sur leur nature" (Augoyard, 1987). On voit également dans cette capacité d'*EsquisSons* un "moyen" de réemployer ce répertoire, de l'utiliser, et de l'entendre dans le cadre du projet d'architecture.

#### 5.4.4 Les nouveaux effets

La proposition de "nouveaux" effets est le résultat du travail sur *EsquisSons* dans le cadre des ateliers, des développements successifs de nouvelles versions, de l'évolution des exemples ou encore des interrogations, sollicitations qui font suite à l'utilisation de l'outil. Cette catégorie regroupe ainsi des effets qui ne figurent pas dans le répertoire des effets sonores, mais qui émergent comme de nouvelles modalités manipulables de l'espace sonore grâce à *EsquisSons*.

#### Distance

*Exemple audio disponible dans la quatrième annexe A.4.6, page 289,*

On propose d'introduire ici un effet que l'on appelle de "distance" et qui correspond à notre perception des sons en rapport à la proximité que l'on a avec ceux-ci. On focalisera ici notre réflexion sur la "distance" physique et/ou géographique avec un son, mais on pourrait extrapoler la notion de distance au regard de la proximité cognitive (culturelle et sociale) qui opère souvent de concours avec le proche et le lointain physique. On peut à cet égard faire référence à deux effets préexistants qui sont l'effet de synecdote et l'effet d'asyndete<sup>44</sup> et qui d'une certaine manière peuvent être considérés comme la base même de l'écoute : "entendre implique un état de préparation à la fois pour ignorer et écouter les sons" (Augoyard, Torgue, McCartney, & Paquette, 2009)<sup>45</sup>

On comprend ainsi l'importance de l'effet de distance dans notre perception de l'environnement à la fois par la perception de l'espace par l'écoute - à l'instar des autres effets élémentaires comme l'effet de réverbération ou l'effet de coupure qui permettent eux aussi de "localiser" les éléments d'une scène sonore, mais également de spatialiser une écoute; c'est-à-dire de se représenter l'espace au travers duquel sont modulés et propagés les sons. L'effet de distance que l'on propose ici constitue notre capacité à "positionner" dans le proche, l'intermédiaire et le lointain des éléments sonores qui fabriquent "la scène". On appréhende ainsi l'espace sonore comme une succession de couches qualifiées par leurs distances et qui se trouvent

---

44. Écoute ou mémoire auditive sélective par, respectivement, la mise en valeur ou l'effacement d'un ou plusieurs éléments sonores

45. Traduit depuis l'anglais par l'auteur

auto-corrélées et constitutives de la perception acoustique que l'on a d'un espace. Cette particularité acoustique met en avant des typologies d'événements sonores que l'on propose d'appeler ici le "fond", la "forme" et l'"émergence" et qui articulent une caractéristique de distance physique de la source avec le type de son que celle-ci émet (intensité, fréquence, temporalité). Ainsi l'émergence sera plus souvent qualifiée par un son proche, plus intense et dans une plage de fréquence détachée du niveau ambiant <sup>46</sup>; le fond au contraire correspond plus souvent à un son lointain (voire difficilement localisable), dans une plage de fréquence souvent constante et sur un rythme plus continu et linéaire. Enfin, on retrouve ce que nous appelons la "forme" et qui représente l'entre deux. Cette dernière et à l'interface ou à l'articulation des deux polarités et navigue parfois de l'un à l'autre. Il est très intéressant ici de noter que l'effet de distance est constitutif (avec les caractéristiques du son) de ce découpage et donc de notre perception d'un fond et d'une forme (ou d'une émergence) sonore.

### Effet de présence

*Exemple audio disponible dans la quatrième annexe A.4.7, page 290,*

Cette effet que nous appelons "effet de présence" combine en réalité deux effets existants que sont les effets d'émergence (*Effet qui permet de qualifier l'apparition nette d'un son dans le contexte global - que ce soit par l'intensité, le rythme ou les fréquences employés*) et d'intrusion (*caractérise un son ou un ensemble de son qui donne le sentiment d'une irruption dans un espace dont on a la perception qu'il est "protégé"*). On choisit de les regrouper ici sous un seul effet puisqu'ils se combinent dans l'usage d'*EsquisSons* qui permet de manipuler les sons dans l'espace et de sculpter ainsi leurs sonorités. L'effet de présence pourrait s'illustrer par exemple par le déplacement d'une source qui, en prenant position dans un sous-espace de l'esquisse, gagne à la fois en présence sonore (elle devient une émergence dans la scène) mais aussi en présence spatiale, ce qui lui donne ce caractère "intrusif" ou "occupant" (au sens de remplissant l'espace). Au-delà des exemples extrêmes, l'effet de présence peut-être vu comme un réglage des spatialités et des sonorités qui permet de calibrer ou de transformer un rapport usage/espaces/matérialités.

### Effet de "Plongée"

L'effet de plongée est très proche de l'effet d'immersion qui existe dans le répertoire des effets sonores et qui est défini comme un effet de dominance d'une situation locale sur un contexte sonore et perceptif plus global, voire "de second plan". On choisit ici de le réinterpréter en l'associant à l'expérience spécifique et prospective

---

46. Voir effet d'émergence (Augoyard & Torgue, 1995)

d'une esquisse sonore. Ainsi, ce que nous choisissons d'appeler effet de plongée s'apparente à une posture d'écoute particulière qui nous projette à l'intérieur du modèle que l'on est précisément en train d'écouter. Au-delà d'un rapport de plans (que l'on verra plus en détail avec la notion de configurations), l'immersion devient un réel effet de "plongée" à l'intérieur de ce que l'on esquisse. Il existe d'ailleurs un effet appelé l'effet d'enveloppement qui correspond à la "sensation d'être environné par une matière sonore ayant la capacité de créer un ensemble autonome qui prédomine sur les autres éléments circonstanciels du moment" (Augoyard, 1987). Du fait du caractère instrumenté de l'expérience avec *EsquisSons* (c'est-à-dire dans un casque ou dans des haut-parleurs qui transforment l'expérience d'écoute), on ne peut complètement se retrouver dans cette définition mais elle nous permet de décrire un peu plus précisément cet effet de plongée qui serait propre à l'expérience instrumentée. Ainsi, au-delà de créer un ensemble autonome qui prédomine sur l'autre, la scène sonore que l'on appréhende va parfois nous plonger littéralement à l'intérieur du modèle et donc transformer notre posture objective et omnisciente sur l'environnement que l'on dessine en une posture subjective ; celle-ci allant jusqu'à "désarmer" l'utilisateur d'une partie de ses moyens d'action sur la scène dont il fait l'expérience "audiovisuelle" : lors de l'atelier 2 (école d'hiver 2017 - section 6.3, page 151, ), on a pu observer le comportement de certains participants qui finissent par se plonger dans la scène qu'ils ont construite et dont le seul moyen d'action devient le mouvement à l'intérieur de cette dernière. Cela les incite notamment à tendre vers des productions qui sont des parcours dans le modèle, voir même à réinvestir par le vécu leur travail avec des balades sonores (libres) dans l'esquisse (voir "De la fontaine au marché" dans la section 6.3.2, page 158, ). Plus qu'un effet sonore on assiste ici à une transformation globale de la posture de celui qui écoute et qui projette.

#### 5.4.5 L'apport des effets

La suite d'effets présentés ici n'a bien sûr pas vocation à constituer une liste exhaustive des possibles avec *EsquisSons* mais plutôt de présenter, comme une grammaire, une illustration des éléments que l'on peut manipuler pour composer, et pourquoi pas en proposer de nouveaux par agencement ou par invention.

L'outil nous permet par ailleurs de renouveler l'approche des effets sonore en proposant d'abord une écoute de ceux-ci, directement liée à ce que l'on dessine, mais surtout en rendant possibles les comparaisons directes entre situations (par un changement de position ou de morphologie par exemple). Cela amène l'utilisateur à entendre les différences de manière plus franche puisque l'on passe d'une amplitude d'effet à l'autre, voire parfois, d'un effet à l'autre sans passer par des étapes successives qui peuvent parfois altérer la mémoire auditive de la première situation et donc la comparaison avec une autre<sup>47</sup>.

---

47. Voir les effets de récénces observés pour les sons environnementaux (Rowe & Rowe, 1976) et

Bien que cette série d'effet soit reproductible facilement via l'outil, elle ne constitue pas l'essence de ce que peut produire *EsquisSons*. Ces effets ne sont véritablement que des "éléments isolés" dans une configuration particulière de perception. C'est par l'articulation des effets et des spécificités spatiales que se construisent les conditions de possibilités d'ambiances. Pour présenter cette articulation, nous avons besoin d'un niveau de définition et de démonstration plus large qui présente ce que l'on va appeler des "configurations".

### 5.4.6 Les configurations

Comme nous l'avons précisé, ce que l'on choisit d'appeler ici "configurations" correspond à des associations d'effets et d'espace plus qu'à des sonorités « spécifiques ». Ces configurations ont également vocation à favoriser les articulations sensibles. En effet, celles-ci ne traitent pas uniquement d'un résultat sonore isolé, mais bien d'une configuration « spatio sensible » qui se trouve esquissée à travers l'outil *EsquisSons*.

Les configurations prennent alors une dimension de démonstrateur qui montre les "possibles". Cette section, en plus d'un développement théorique qui conclue notre processus de développement, s'articule avec les utilisations de l'outil dans le cadre des ateliers qui vont permettre de mettre en expérience, voire de se mettre à l'épreuve d'une expérience. On constitue ainsi un ensemble de matériaux résultant de ce travail et participant autant à la démonstration de "faisabilité" qu'au test de nos hypothèses.

Dans cette série, on a notamment fait le choix de re-mobiliser des catégories déjà élaborées par Grégoire Chelkoff dans « Prototypes Sonores Architecturaux » (Chelkoff, 2003) et qui font référence à des types de situations sonores relatives à des associations de morphologies de sources et d'usages. Ainsi ces catégories - Articulation, Limite et Inclusion - sont parfaitement adaptées à cet ensemble que nous avons appelé les "configurations" spatiales et sonores puisqu'à l'inverse des effets présentés plus haut, elles ne cherchent pas à isoler un élément caractéristique de l'environnement sensible, mais bien de comprendre sa dimension englobante. Aussi, au même titre que les effets sonores précédemment présentés, l'utilisation de ces catégories constitue une façon de tester l'outil à travers des résultats provenant de recherches antérieures et ainsi de s'appuyer sur des éléments solides issus des études de l'environnement sonore pour comprendre comment *EsquisSons* peut permettre de re-mobiliser ces enjeux toujours d'actualité pour la pensée des espaces et des environnements sensibles qui y sont associés<sup>48</sup>.

---

(Susini & Guelton, 2006)

48. On présentera des exemples de ces emplois dans les phases "productions" des ateliers (section 6, page 145, )

## 5.4.7 Les configurations de situations

### Fermée

La configuration que nous avons appelée "fermée" correspond à une forte corrélation entre une configuration spatiale et une configuration sonore qui seraient toutes les deux "closes" et donc se répondant de manière directe en fabriquant une configuration intuitive dans l'écoute. Ici on mobilise un rapport entre deux espaces que fabrique une morphologie et qui implique une "combinaison"<sup>49</sup> particulière entre ces derniers. Pour prendre un exemple simple, on retrouve la configuration fermée lorsque l'on rentre dans une salle de réunion ou un bureau depuis un aménagement en *open-space*. La transformation spatiale qui tout d'un coup nous recouvre, nous protège, se ressent également dans la perception sonore que ce soit par l'isolement et/ou par l'acoustique de la pièce (un espace très mat au milieu d'un espace réverbérant pourra également produire ce type de configuration)

### Ouverte

La configuration ouverte correspond à l'inverse de la situation fermée (c'est-à-dire quand cette dernière tend à s'ouvrir). Pour autant nous avons fait le choix de séparer ces deux configurations car on constate la possibilité de combiner une configuration ouverte dans une configuration fermée. Si l'on prend la typologie morphologique de l'enceinte, on va pouvoir générer -selon l'espace, la matérialité et les usages cette dernière- une configuration que nous avons appelée "fermée" avec l'environnement immédiat en combinant par exemple plusieurs effets de filtrages sensibles. Pour autant cette enceinte peut donner à percevoir de manière très ouverte un autre pan de notre environnement proche par un ensemble de dispositifs spatiaux qui vont recréer une nouvelle focale sur ce dernier (le traitement d'un accès ou d'une paroi qui vont "donner à entendre", ou encore un point d'écoute spécifique associé à un point de vue). Ainsi la configuration dite "ouverte" n'est pas à mettre en opposition à la configuration fermée (et inversement), en les présentant comme deux configurations distinctes, elles apparaissent dans notre vocabulaire de l'outil comme des complémentarités voir des associations possibles de configurations. La forte relation espace/son que proposent les deux configurations ouvertes et fermées résonnent particulièrement avec *EsquisSons* qui permet justement de travailler sur ce rapport son/espace, soit pour le renforcer soit au contraire pour le limiter.

### Modulable

Nous avons appelé "modulables" les configurations qui permettent d'entendre des modulations dans l'écoute, que ce soit par un dispositif spécifique qui permet ces

---

49. voir "Les configurations de combinaison" page 142

variations, ou bien par la disponibilité de plusieurs espaces sonnants différenciés que l'on fait varier par le déplacement. Cette configuration est très présente dans les esquisses sonores qui permettent, comme on l'a dit, de comparer rapidement un point d'écoute, un espace ou encore un dispositif avec un autre. On peut ainsi par l'esquisse illustrer et tester ces modularités de l'espace pour les rendre les plus justes et complémentaires possible dans l'écoute et dans l'espace.

### **Projetée**

Les configurations que nous avons choisi d'appeler "protégée" et "projetée" sont différentes des précédentes (ouverte/fermée) dans le sens où elles constituent plus une situation d'écoute particulière sur le lointain sans nécessairement s'appliquer aux environnements proches. On pourra alors esquisser une situation "projetée" qui par ailleurs sera plutôt fermée sur son environnement proche : un "belsonere" impénétrable à la fois par les corps et par les sens, mais qui nous projette pourtant dans l'écoute du lointain. Ces deux configurations (projetée et protégée) sont plus spécifiques aux environnements extérieurs même si elles peuvent dans de plus rares cas être mobilisées dans de grands espaces.

### **Protégée**

Dans le même sens, la configuration "protégée" peut tout à fait qualifier un dispositif très "ouvert" aux perceptions et aux mouvements avec une configuration acoustique plutôt ouverte sur l'environnement proche et protégeant néanmoins d'une situation plus lointaine. La protection se distingue de la simple opposition à la projection du fait qu'elle nécessite un environnement initial plutôt englobant ; duquel on peut/on souhaite s'extraire. Sans ce dernier on ne peut pas se "protéger" et on retrouve alors les seules caractéristiques de la configuration ouverte ou fermée.

## **5.4.8 Les configurations de combinaison**

Les configurations que nous appelons ici de combinaison sont tirées du travail de répertoire et d'expérimentation "Prototypes Sonores Architecturaux" (Chelkoff, 2003). Il s'agit des configurations d'articulation, de limite et d'inclusion. Nous avons décidé de les présenter en aparté des autres car elles nous permettent de mieux décrire les rapports entre les espaces "sonnants" de manière plus fondamentale. Elles sont ainsi complémentaires de celles que nous venons de présenter.

### **Articulation**

Les configurations d'articulations correspondent au lien sonore qui s'opère lors d'un déplacement de l'auditeur d'un environnement vers un autre. La transition

dans cette configuration est "ménagée", c'est-à-dire qu'elle est pensée et qu'elle mobilise souvent des effets pour articuler le passage d'un environnement sonore à l'autre. On retrouve spécifiquement ce type de configuration spatio-sonore lors d'une différence importante entre deux milieux. Avec *EsquisSons*, les utilisateurs testent ainsi des dispositifs spatiaux et/ou des sources qui vont produire différents effets (réverbération, masquage, filtrage, etc.) et qui feront l'articulation entre les deux milieux.

*"Cette catégorie concerne ainsi de manière générale tous les types d'accès aux espaces clos, semi-ouverts, mais aussi la majorité des transitions urbaines. [Elle] peut infléchir les adaptations et ajustement de l'écoute et de la production sonore au moment vécu de ces dynamiques. [...] Elle peut aussi concerner l'orientation spatiale dans un milieu"* (Chelkoff, 2003)

## Limite

La configuration de limite, à l'inverse de l'articulation implique une transition par un mouvement du corps "minimum". On bascule ainsi d'un environnement à l'autre de manière quasi instantanée (par une inclinaison, un recul ou une rotation du corps par exemple). Cette configuration a un rôle particulier dans l'outil, car on ne sait dire si elle est le fruit d'un véritable effet acoustique ou s'il s'agit d'une "aberration" du logiciel qui va séparer de manière caricaturale l'écoute entre un point A et un point B ou entre deux orientations de l'écouter. Il s'agit là d'une difficulté de l'outil qui est dépendante de notre choix de développer un support à l'esquisse qui ne se veut pas "exact" dans ses résultats et qui instaure parfois le doute sur la justesse ou l'exagération d'un effet ou d'une configuration.

On retrouve par ailleurs dans les situations de limites (qu'elles soient réalistes ou caricaturées) la "potentialité de réversibilité immédiate" (Chelkoff, 2003). On peut même la connecter à ce que nous présentions en conclusion des effets sur la comparaison instantanée qui permet de créer "virtuellement" des situations de limites et donc de mettre en avant des différences d'environnement sans passer par les transitions. Cette potentialité est particulièrement utile pour entendre et comprendre des dissemblances sur le plan sonore et spatial grâce à l'outil.

## Inclusion

La configuration d'inclusion correspond aux situations *"d'emboîtement sonore n'impliquant pas de déplacement de l'auditeur mais donnant conscience de différents contenant"* (Chelkoff, 2003). Cette configuration est particulièrement intéressante ici puisqu'il s'agit d'une catégorie qui implique un vécu par le sonore d'un ensemble (spatial et/ou sensible) dans un autre. On pourrait la décrire comme une immersion dans un plus petit ensemble qui nous permet de ressentir le plus grand ensemble dans

lequel il est contenu. On retrouve cette configuration dans beaucoup de situations quotidiennes, mais aussi dans un grand nombre d'esquisses réalisées avec *EsquisSons* et qui essayent, dans un contexte plus large d'espace et de sons, de réimplanter des unités pour s'en extraire et/ou le recomposer (*Voir "amers sonores" page 156 ou "la place aux arbres" page 171 par exemple*).

## Conclusion

On constate que les configurations que nous avons présentées ici correspondent plus fidèlement aux productions qui ont pu être réalisées avec *EsquisSons* puisqu'elles ne se contentent pas de présenter un effet isolé, mais bien leurs applications, combinées entre elles par l'espace et l'usage qui est esquissé. Ces configurations s'attachent notamment à décrire une expérience à l'échelle du corps et c'est cette focale particulière qu'*EsquisSons* propose d'intégrer à la conception en faisant écouter des "compositions" (spatiales et sonores) qui articulent morphologie, espace et perception.

### 5.4.9 Un mode d'emploi et un test

L'exercice du solfège est intéressant puisqu'en plus de construire un vocabulaire d'utilisation de l'outil qui pourrait être présenté comme un mode d'emploi "par l'exemple", il nous a permis de tester l'outil en le confrontant à des notions clés pour la pensée du son et des ambiances dans l'espace. Les travaux ainsi mobilisés ont été testés et validés par un travail pluridisciplinaire mais aussi par l'analyse de l'existant qui a permis de construire ces répertoires. Pouvoir reproduire ces effets et ces configurations permet de tester l'outil en montrant ses possibles, mais aussi ses limites.

Chacun de ces éléments du solfège n'est donc pas spécifique à l'outil *EsquisSons*, mais on peut affirmer que l'outil permet de mobiliser ces ressources de conception par et pour les ambiances.

Ces repères d'utilisation que nous avons pu extraire de l'outil se révèlent former un vocabulaire permettant de mobiliser le triptyque "forme, matérialité, usages" et c'est ce dernier que l'on manipule via la "matière sonore" et par les effets et les configurations.

Enfin, l'outil nous a permis de réfléchir à de nouvelles configurations ou à de nouveaux effets qui émergent spécifiquement de la manipulation prospective du sonore pour l'espace. On reprend ainsi certains éléments déjà développés pour les combiner ou pour les éclater dans de nouvelles notions qui forment d'autres outils de grammaire d'une pensée de l'espace avec les sons.

# Chapitre 6

## Deuxième corpus, les ateliers

Dans cette partie il s'agit de présenter les différents terrains d'études qui ont pris la forme de quatre moments d'une semaine. Ces quatre semaines étalées sur 3 ans ont été les terrains d'enquête principaux pour ce travail de doctorat puisqu'ils ont servi de temps d'exploration et d'expérimentation avec l'outil sur des objets spatiaux et sonores. Ces ateliers ont pris des formes et des objectifs différents à chaque occurrence, mais l'idée principale qui a servi de fil conducteur est restée la même : essayer de concevoir des dispositifs ou des espaces en interrogeant le sonore et en mobilisant – sans contrainte d'exclusivité – l'outil *EsquisSons*.

### 6.1 Les ateliers, présentation générale

#### 6.1.1 Déroulé, méthode et critères

Lors de ces ateliers, nous avons choisi de tenir des « carnets de terrain » qui nous permettent de restituer notre observation participante, on a choisi pour cela de synthétiser ici leurs déroulés puis d'en faire l'analyse en articulant leur progression et leurs productions avec les questionnaires et les captations que nous avons pu réaliser.

#### **Les critères de choix et d'élaboration**

Trois raisons principales ont permis d'élaborer et de choisir ces terrains d'étude de manière à pouvoir tester nos hypothèses : Tout d'abord, il était important de trouver des ateliers sur des « temps longs » et sans discontinuités de manière à s'affranchir des problématiques déjà développées en amont au sujet de la courbe d'apprentissage de l'outil, et ainsi de pouvoir en partie s'affranchir des questions techniques et pratiques que demandent ce dernier.

Le choix de travailler sur des périodes d'une semaine a ensuite été « dicté » par les

ateliers à notre disposition pour réaliser cette expérimentation, il est ainsi devenu un critère pour les terrains suivants afin de conserver cette même temporalité sur chaque cas étudié. Ce temps d'une semaine, bien que non choisi se révèle néanmoins comme un format propice et révélateur, à la fois des réussites mais aussi des échecs qui peuvent survenir dans ce type d'expériences « instrumentées ». Le choix de garder cette même durée dans le temps permet de vraiment comparer les résultats et les prises en main d'un atelier sur l'autre.

Il nous a fallu ensuite réfléchir à l'« échantillon » qui constituerait les participants. Nous voulions initialement disposer de l'échantillon le plus large possible (du bétotien jusqu'au professionnel de la conception spatiale mais aussi des étudiants). Les résultats nous montrent que nous disposons finalement en proportion de plus de productions émanant d'étudiants que des deux autres catégories.

Dans l'idéal, il aurait été préférable ce pouvoir faire varier les cadres de ces ateliers pour contourner autant que possible les différents biais de statuts qui peuvent intervenir, d'autant plus lors d'un travail basé essentiellement sur l'observation et dans lequel nous sommes évidemment partie prenante. Nous verrons plus loin les différentes « tentatives » de méthodes que nous avons expérimentées pour permettre d'élargir ce prisme, mais nous nous concentrerons dans ce deuxième corpus sur deux types de terrain d'étude : l'école thématique (*pluridisciplinaire et avec des profils variés*) et l'atelier pédagogique (*étudiants en architecture*).

## 6.2 Carnet de terrain – École d’hiver 2016

*Nombre de participants : 19*

*Disciplines : Architecture, Urbanisme, Art, Journalisme, Musique*

### 6.2.1 Présentation et déroulé de l’atelier

La première tentative d’utilisation de l’outil d’*EsquisSons* dans le cadre d’une école thématique, et donc d’une pensée « appareillée » du sonore dans le projet, a eu lieu en 2016 lors de la 4ème édition de l’école d’hiver du CRESSON intitulée « *Des seuils, des limites et des passages dans l’espace public urbain* ».

Le contexte particulier d’une école thématique est important à préciser, d’autant qu’il reviendra une seconde fois dans ce corpus. Lors de ces écoles d’hiver, il est question pour l’équipe CRESSON à laquelle nous appartenons de transmettre à des participants de formations diverses (professionnels de l’espace, étudiants, artistes, journalistes, etc.) la « pensée » et les "outils" du laboratoire. Pour ce faire des apports théoriques mais aussi méthodologiques sont présentés puis mobilisés par les participants lors d’un travail d’atelier. C’est dans ce cadre précis d’un emploi des méthodes que nous avons proposé l’insertion d’*EsquisSons* comme « outil » de pensée et de projet du son dans l’espace.

Pour cette école menée en janvier 2016, nous avons pu présenter l’outil afin d’amorcer une potentielle utilisation lors de l’atelier ; mais malgré un intérêt manifeste chez certains, aucun participant ne l’a finalement utilisé dans ses productions ou dans ses investigations et s’est alors immédiatement posé la question du pourquoi ?

Notre méthode proposant de regarder à la fois les résultats des ateliers, leurs déroulés ainsi que les retours des personnes y ayant participé ne permet pas de réellement exploiter cette première école thématique, car sans utilisation d’*EsquisSons*, on se retrouve sans matière à analyser. Nous avons malgré tout fait le choix de présenter, de manière succincte, cette première tentative infructueuse afin d’en extraire les éléments nous permettant de ne pas reproduire le même scénario, mais aussi nous guidant vers des évolutions nécessaires de l’outil pour faciliter son utilisation.

Certaines pistes et discussions pendant le workshop et avec les participants sur les éléments qu’ils auraient aimés pouvoir esquisser avec un outil comme *EsquisSons* ont également pu nous donner des pistes d’évolutions de fond et de forme pour l’outil.

### Déroulé

Lors de cette école thématique, *EsquisSons* a été introduit pendant une heure lors d’une présentation « non instrumentée » (*on entend par là que les participants à l’atelier ne manipulaient pas l’outil*) et dans sa version initiale (*c’est-à-dire celle*

*résultant de la recherche ADEME<sup>1</sup>*). Dans ce contexte les participants ont malgré tout fait état d'un grand intérêt pour le potentiel et l'imaginaire que cela pouvait leur offrir mais nous n'avons malheureusement pas de traces enregistrées de ces interactions. On a ainsi pu évoquer les possibilités d' « élargissement » des potentiels et de détournements éventuels que l'on pouvait en faire sans pour autant montrer des applications concrètes à la conception ou à la représentation d'environnement et d'espace autres que les Balcons/Terrasses/Loggias/Coursives développés pendant la recherche précédemment citée.

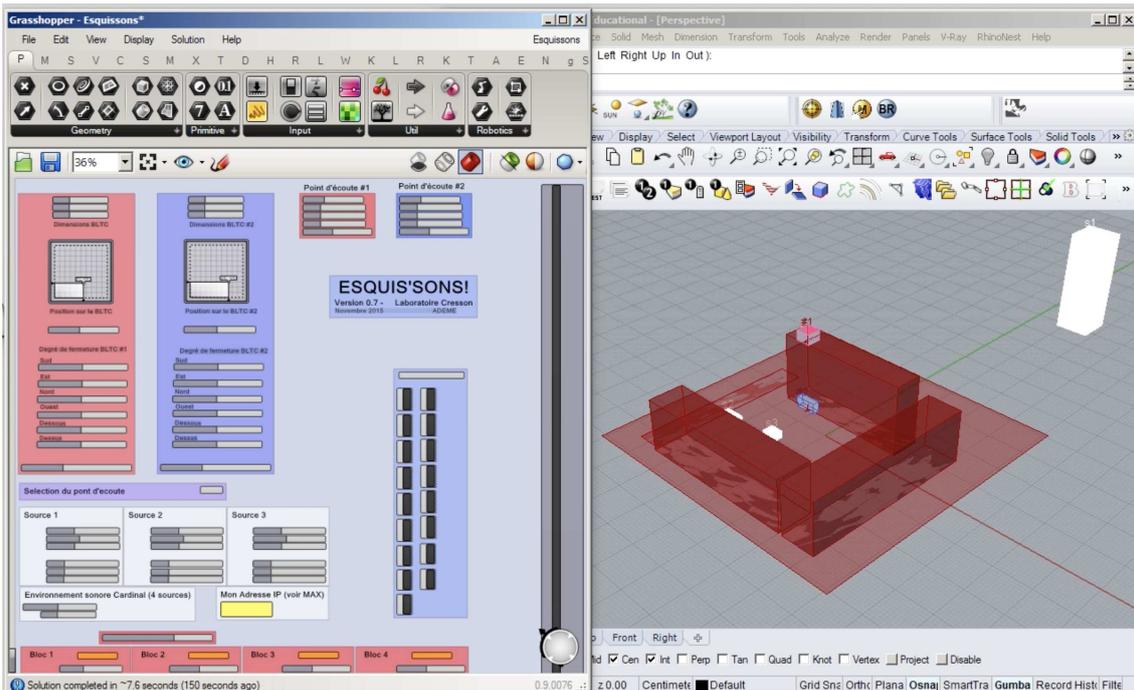


FIGURE 6.1 – Interface initiale d'EsquisSons dans le canva grasshopper - À droite l'exemple des morphologies possibles dans la première version d'EsquisSons (*Décembre 2015*)

La suite de l'atelier n'a pas pu intégrer une étape de guidage supplémentaire pour l'installation de l'outil (encore très instable à l'époque) ni même une place pour des détails plus techniques (articulation entre les logiciels de CAO et de MAO notamment). Il s'agit là d'une précision importante car c'est un point aveugle de l'outil qui est apparu difficile à désamorcer ou même à « démêler » pour certains utilisateurs et que l'on retrouve régulièrement dans les utilisations de l'outil ; quelle place pour la maîtrise technique dans l'utilisation et l'appropriation d'un outil ?

Les participants ont ensuite pu aller sur le terrain pour entendre, écouter et faire des prises de son. Cette étape de terrain a mené vers des productions diverses que l'on ne détaillera pas ici puisqu'aucune d'entre elles n'a mobilisé notre outil. Il ne

1. voir section 5.2, page 111,

s'agit donc en soit pas de résultats directement associés à ce dernier. On peut par contre interroger ce non-emploi afin de comprendre pourquoi et comment il n'a pas été utilisé.

## 6.2.2 Résultats et transformations

Il n'existe pas non plus de données quantitatives pour ce terrain. Les questionnaires n'ayant été élaborés que plus tard. Ce premier atelier faisait donc plutôt office de terrain exploratoire après une année de réflexion sur la question de l'outil. L'objet a été notamment d'extraire et de tester très tôt les grandes lignes de travail, tant sur l'outil que dans la méthodologie employée. Les conclusions en sont donc davantage méthodologiques que théoriques.

Comme première conclusion on peut citer la difficulté évidente à transmettre les schèmes d'utilisation (et donc ses potentialités « instrumentales ») sans que les participants utilisent directement l'outil proposé. En effet, nous basons une partie de notre exploration sur une interrogation des instruments numériques de conceptions et leur mode d'utilisation, Pour cela, il est nécessaire de pouvoir faire des observations à l'usage, que ce soit pour observer la prise en main, l'utilisation et les productions qui en résultent. Nous nous efforcerons donc dans la suite à impliquer davantage les participants dans l'utilisation de l'outil.

La première piste que cela nous permet d'élaborer, c'est celle d'une utilisation de l'outil qui serait systématique, c'est-à-dire liée à la nature et à l'objectif des ateliers. Cette méthode permettrait en effet d'extraire de manière plus immédiate des éléments d'information pour la suite du développement. Il est par exemple apparu avec ce premier atelier qu'il était nécessaire de simplifier le processus d'installation et de manipulation de l'outil qui s'avérait trop lourd et contraignant à mettre en œuvre. Ce point a ensuite été un enjeu de développement important durant toute l'évolution de l'outil pour ne pas "perdre" une partie des utilisateurs potentiels lors d'une phase technique et sans intérêt pour les enjeux de conception<sup>2</sup>.

En plus de la nécessité d'une instrumentation, ce premier atelier a également permis d'envisager l'outil dans des configurations et des utilisations inédites ou non prévues. Lors de cette semaine, certains étudiants ont ainsi exprimé l'envie de faire entendre les variations dans l'écoute associées à des variations de hauteurs correspondant aux étages habités. L'idée étant de réaliser avec *EsquisSons* un « démonstrateur » qui permettrait de faire entendre la variation des perceptions selon notre position par rapport au sol.

Ce premier atelier a également permis de tester l'articulation d'*EsquisSons* à des enjeux de projet : ses mises en œuvre et ses freins potentiels mais aussi les appli-

---

2. Cela nous montre ici comment et pourquoi nous avons dû, durant ce travail, nous adapter à des tâches et des contraintes pas forcément intuitives lors d'un doctorat en architecture, mais nécessaires pour le mener à bien

cations et résultats qu'il pourrait ou non produire. Certaines hypothèses de projet nécessitaient une prise en compte des réverbérations pas encore possible à l'époque et qu'il a fallu développer pour rendre compte des spécificités acoustiques des espaces esquissés. D'autres projets avaient le souhait de mobiliser des morphologies complexes ou sortant du cadre imposé par l'outil, ce qui nous a poussés à penser une intégration plus facile des spatialités, quelles que soient leurs complexités. En effet la version d'*EsquisSons* de cette période ne proposait qu'une manipulation de formes parallélépipédiques et l'importation d'une seule morphologie libre qui étaient ensuite simplifiée par l'outil pour accélérer les calculs.

Aussi, on a pu constater une nécessité de simplifier le rapport utilisateur à l'outil par une modification des interfaces logicielles. Ces dernières étaient pour les participants d'apparence trop « complexe ». En effet, l'ensemble de l'outil et de son fonctionnement étaient directement accessibles dans la fenêtre « canevas » de grasshopper<sup>3</sup>. Cela a eu pour effet de rendre difficiles la lecture des informations et la manipulation des objets spatiaux et sonores. Nous avons donc à la suite de cet atelier choisi de séparer en deux interfaces distinctes la partie dédiée aux morphologies 3D et celle dédiée à l'auralisation. Cette organisation d'un outil regroupé au sein d'une même fenêtre et où tout est accessible avait également comme impact de générer une peur de « mal faire ». En effet, le fonctionnement et les articulations entre chaque opérateur étaient directement accessibles pour l'utilisateur. Diviser notre outil en deux parties a ainsi permis d'« encapsuler » certaines relations (même si celles-ci restent accessibles) pour rendre moins intimidante l'approche de ce dernier.

Ainsi, malgré le peu de données associées à l'expérience de l'outil qui ont été récoltées, cette école thématique nous aura permis de lancer un premier test réel et de pouvoir échanger avec des utilisateurs potentiels et intéressés. Les blocages, les envies et idées qui en sont ressorties ont pu alimenter la suite de ce travail afin d'améliorer l'outil et ainsi on pu rendre possible son utilisation lors du second terrain d'étude<sup>4</sup>.

---

3. C'est-à-dire que l'outil apparaissait sous forme de script (voir figure 5.10, page 118, ) et non de composants indépendants à manipuler (voir figure 5.13, page 122, )

4. Voir en deuxième annexe le tableau détaillé des évolutions de l'outil : A.2.2, page 253,

## 6.3 Carnets de Terrain - École d'hiver 2017

*Nombre de participants : 18*

*Disciplines : Architecture, Urbanisme, Art, Radio, Musicologie, Éthologie*

### 6.3.1 Présentation et déroulé de l'atelier

Ce deuxième terrain d'étude a eu lieu un an plus tard lors de la cinquième école d'hiver du cresson. Ce temps long d'une année entre les deux ateliers a permis d'élaborer et de tester les corrections qui permettaient de corriger les freins et les problèmes identifiés dans l'atelier précédent.

Nous avons choisi de placer l'outil au cœur des enjeux de ce second atelier en proposant aux participants d'interroger le son comme un moyen d'esquisser le projet d'espace, et ceci afin que l'outil serve directement de média principal à l'atelier. Nous avons choisi comme site de projet un quartier péri-urbain qui articule deux époques de réalisations et donc des stratégies urbaines différentes : les quartiers du village olympique et de Vigny Musset à Grenoble. Cette situation urbaine permettait aux participants de choisir une situation réelle de projet d'espace et d'expérimenter cette situation à la fois dans une démarche analytique sur site et prospective avec *EsquisSons*.

Pour favoriser l'ancrage dans le lieu, l'outil *EsquisSons* a été présenté après une première visite des deux quartiers. Nous avons ensuite choisi de changer la méthode de présentation de l'outil puisque celle-ci s'est déroulée sur une après-midi complète et qu'elle a été l'objet d'une « présentation instrumentée » ; c'est-à-dire que les participants avaient chacun à leur disposition un ordinateur leur permettant de manipuler l'outil en parallèle. Il a été pour cela décidé de le faire dans une salle dédiée et équipée pour contourner les problèmes techniques éventuels que nous avons pu rencontrer lors de la première phase de terrain. Ces présentations dites « instrumentées » de l'outil avaient pour objectif de le montrer directement en « utilisation ». Au-delà d'une présentation théorique, on cherche à exposer son potentiel d'utilisation en le présentant « en acte » et à faire manipuler l'outil pour l'expliquer par l'expérience de l'esquisse sonore. Il devient ainsi aux yeux et aux oreilles des participants un instrument que l'on manipule plus qu'un artefact à distance. Chacun d'entre eux peut alors s'en emparer en reproduisant puis en construisant des schèmes d'utilisation.

Ce choix de présenter l'outil sur un temps long a permis de mettre en lumière les interrogations des participants puis de les exemplifier en direct. On peut ainsi condenser ces questions autour de trois grandes thématiques :

- *Que peut-on faire avec EsquisSons ?*
- *Quelle est la nature des objets que l'on peut manipuler ?*
- *Quels soucis techniques prévus ou imprévus peut-on rencontrer ?*

Ces trois grandes familles de questions permettent alors de préciser certaines orientations, mais aussi de faire émerger des envies/ambitions avec l'outil :

- *Pourquoi est-ce que nous parlons d'esquisse et non pas de simulation ?*
- *Les enjeux pour le projet d'espace*
- *Les premières pistes cela peut amener au projet*

Cette semaine (qui reprend la même forme que l'atelier précédent) a articulé des interventions théoriques et des expérimentations pratiques. Durant les phases d'ateliers, nous avons cherché à faciliter l'utilisation d'*EsquisSons* en mettant à la disposition des participants une salle et des postes informatiques et en les accompagnant dans les manipulations de l'outil.

Pour pouvoir comprendre et analyser ces ateliers, nous avons également choisi en plus du carnet de terrain, d'employer la méthode vidéo et de filmer les échanges autour de l'outil et les manipulations des participants pendant la semaine. L'objectif de ces terrains était notamment, comme nous l'avons expliqué lors de la présentation des méthodes, d'extraire de cette semaine de travail des utilisations et des productions qui nous permettraient d'évaluer le « fonctionnement » de l'outil et ce qu'il permet d'atteindre dans sa manipulation des sons et dans sa prospective spatiale et ambiante.

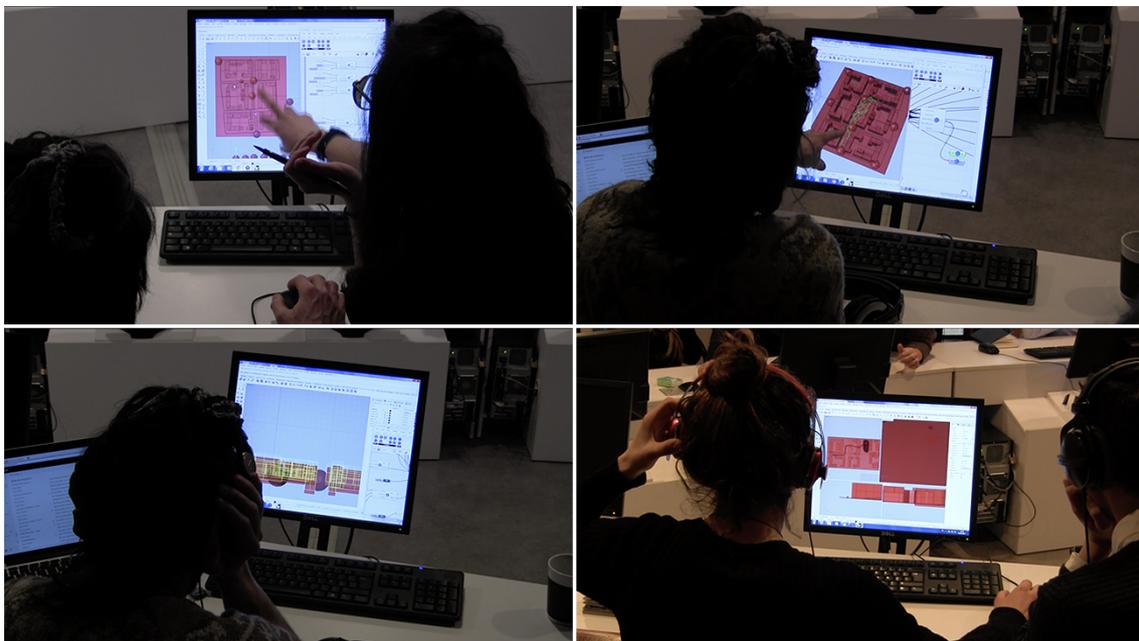


FIGURE 6.2 – Série de captures d'écrans tirées des captations vidéos - Ateliers Janvier 2017

On relève dans cet atelier une utilisation très impliquée que l'on peut à la fois associer à un "intérêt" manifeste pour le son des inscrits à cette école thématique, mais aussi à un accompagnement particulièrement important pour que les utilisations de l'outil se passent le mieux possible. Néanmoins, la vidéo a pu révéler des postures atypiques de projet par et avec l'écoute malgré notre absence. On remarque surtout une approche par le parcours et le cheminement des espaces qui s'explique par le travail de composition spatio-sonore que l'outil autorise ; mais on observe aussi beaucoup de groupes se "plonger" littéralement à l'intérieur des transformations qu'ils testent pour évaluer par l'expérience et comparer comment on "entend" un choix par rapport à un autre.

Le déroulement de ces ateliers est enfin un matériau qui permet de nous faire réfléchir sur l'évolution itérative d'*EsquisSons* : les évolutions qui ont pu avoir lieu tout au long de notre travail ont principalement pris naissance lors des ateliers et avant ou après ces derniers, car c'est par l'utilisation et l'expérience de l'outil que ce dernier se construit. Ce deuxième atelier a notamment permis de préparer, de tester et enfin d'amender la première version stable et "ouverte"<sup>5</sup> de l'outil.

### 6.3.2 Productions et résultats<sup>6</sup>

Cette cinquième école d'hiver a permis de « fabriquer » et donc de récolter six propositions sonores utilisant *EsquisSons*. Pour revenir en détail sur cette matière, nous avons choisi d'extraire des caractéristiques permettant de les classer. Nous ferons ensuite des recoupements qui permettent de les croiser de manière « inter-catégorisée ». Nous avons volontairement choisi de regrouper ces travaux dans des catégories qui ne sont pas forcément analogues de manière à ne pas restreindre notre écoute et notre regard à un seul angle d'étude. Ainsi les catégories proposées englobent des considérations d'espace, d'usage, mais aussi de représentation, d'imaginaire vécu ou encore d'imaginaire projeté.

#### **Catégorie 1 : la prospective de seuils, séparations ou articulations (dispositif spatial)**

Cette première catégorie regroupe trois propositions qui ont toutes comme objet de projet les espace de transitions, qu'ils soient des seuils, des séparations ou des articulations entre les ambiances.

---

5. Le logiciel et son code source a été mis à disposition de tous, mais surtout, l'utilisation de l'outil est devenue beaucoup plus ouverte avec la possibilité de construire son script ou encore d'importer des sons et des géométries sans "bridage"

6. Toutes les esquisses sonores sont disponibles en quatrième annexe, A.4.8, page 291,

« **Dynamique du présent, sonorités d'avenir** »

(Monique Bolli, Elsa Lebrun, Perrine Poupin, Xiyuan Zhang)

*L'équipe nous fait entendre l'effet de la suppression des grilles permettant l'accès aux cours de Vigny-Musset. Elle ajoute ainsi des lieux publics ouverts qui métamorphosent l'environnement sonore des îlots. L'esquisse sonore tente de faire entendre une diminution du degré d'étanchéité entre l'intérieur des cours et la rue.*

Ce travail d'étude et de transformation des cours d'îlot dans le quartier Vigny-Musset a porté principalement sur les modes d'accès à ces dernières et aux transformations ambiantales potentielles qui pourraient y être liées. L'objet porte donc plus sur des modifications d'usages de ces lieux (en choisissant par exemple d'ouvrir des espaces privés pour favoriser le passage, ou les utilisations extérieures à l'îlot ; ou encore en y favorisant le séjour) qui impacteraient de fait les ambiances intérieures des îlots d'habitation. La production prend la forme d'une écoute comparative « avant/après » de l'intérieur de ces cours, d'abord enregistrées dans leur état actuel, puis esquissées avec des usages et des sonorités importées depuis l'extérieur vers l'intérieur.

On voit ici une utilisation de l'outil d'esquisse pour préfigurer des choix de mise à disposition et d'articulation des espaces sans que cela implique pour autant une création morphologique spécifique ou une modification de l'existant. On extrait néanmoins de cette production un travail sur les interactions sensibles entre les espaces et leurs forces « sonnantes » et les enjeux sociaux et politiques que peut prendre le son dans l'espace (les cœurs d'îlot, figures urbanistiques du quartier, étant particulièrement appropriés à cette mise en débat).

« **In TERRE action** »

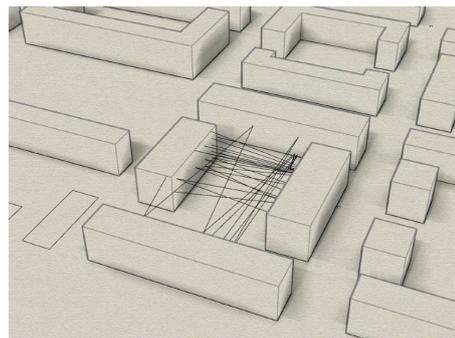
(Abdelaziz Barkani, Sebastien De Pertat, Bastien Lambert, Ummuhan Ozturk)

*Quelle prospective sonore pour le groupe scolaire Marie Reynoard situé « allée des Romantiques » à Vigny-Musset ? Face à un linéaire existant qui sépare les espaces clos (cour, école), l'esquisse sonore cherche à rendre la configuration plus poreuse, offrir des espaces de sociabilité, la rendre plus sécurisée et piétonne. Cette esquisse nous amène vers des changements bucoliques qui transforment le quartier Vigny-Musset en terre, gravier et jardins partagés. L'intention est ici de travailler sur les seuils sensibles entre espace public et privé.*

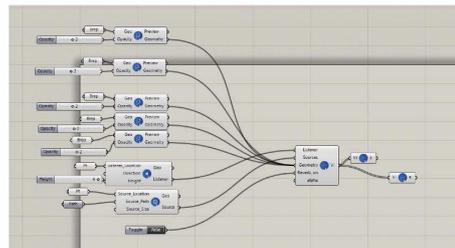
Ici, les enjeux sont clairement associés aux "articulations" d'ambiances. Ce projet d'aménagement urbain et de transformations architecturales propose de réagir en contrepied à une situation qui "sépare" les espaces. Pour cela, l'outil d'esquisse sonore entre en jeu comme un moyen d'entrevoir (ou d'entre-entendre) les ambiances



Allée des Romantiques - Vigny Musset



Modèle 3D - Rhino, Grasshopper, Esquis's ons



Extrait programmation - Grasshopper, Esquis's ons

FIGURE 6.3 – "Dynamique du présent, sonorités d'avenir" /  
Illustration du travail de transformation d'un cœur d'îlot avec  
*EsquisSons*

projetées . Ici, les participants partent des sons de l'existant qu'ils essayent de transformer par des morphologies, des matérialités et des usages nouveaux. Partir du son leur permet de travailler ces trois dimensions de manière conjointe, ce qui les amène au cœur des enjeux ambiantaux ; comme une clef de voute de ces questions. Le son n'apparaît pas dans la finalité comme une dimension plus importante ou plus prégnante que les autres, mais plutôt comme un moyen pour "mettre en équilibre" différentes dimensions de l'espace.

#### « Variation en suspension »

(Sammy Benhis, Zoé Chalaux, Jérémy Di Stefano, Fanny Kubenka)

*La déambulation dans les deux quartiers Vigny Musset et Village Olympique a amené le groupe à comparer les environnements sonores. L'objectif est d'importer les nombreuses variations présentes à Village Olympique (vallonnements, hauteurs des tours, portes sonores) dans le quartier de Vigny-Musset.*

Les participants proposent de travailler sur une passerelle pour "traverser" le quartier à la fois spatialement et acoustiquement. Ainsi, par l'écoute on plonge dans un imaginaire nouveau où une "balade" nous transpose d'une ambiance à l'autre, que ce soit par la traversée d'un bâtiment, la prise de hauteur ou encore le passage

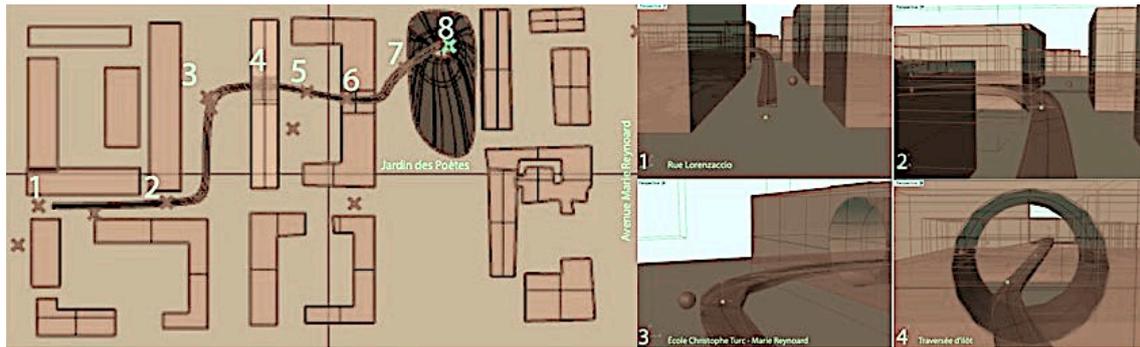


FIGURE 6.4 – «Variation en suspension» / Capture d'écran de l'esquisse réalisée avec EsquisSons, Rhinoceros et Grasshopper : Plan masse et vues perspectives

au-dessus d'une école. L'esquisse et l'écoute transforment à la fois l'expérience du projet (qui se vit et s'arpente plus qu'il ne se regarde) et surtout la manière dont il est pensé puisqu'il devient un imaginaire d'expériences plus qu'une proposition formelle, qui elle est presque "reléguée" au second plan. On explore par l'écoute de nouvelles porosités entre les espaces du quartier (rue, cour de l'école, bâtiments, cours intérieures, jardin et avenue) et des rapports de distance transformés par les variations de hauteur.

## Catégorie 2 : le rapport transversal aux échelles (inter-scalaire)

### « Amers Sonores »

(Sara Ben Romdhane, Leonard Contramestre, Bertillia de Baudinière)

*Le travail cherche à caractériser et à marquer les lieux avec le son pour pouvoir s'orienter (comme on le ferait avec des repères visuels).*

*EsquisSons* a ici permis de tester cette hypothèse dans la configuration urbaine du quartier en jouant de la position de ces nouvelles sources de leurs tailles et de leurs rapports acoustiques avec l'espace. L'esquisse projette de cette façon des effets de "repères sonores" plus ou moins lointains par rapport au quartier, et transforme un espace sonore jugé trop "lisse" en y ajoutant des émergences ou des marqueurs qui transforment les équilibres et donnent des repères à entendre.

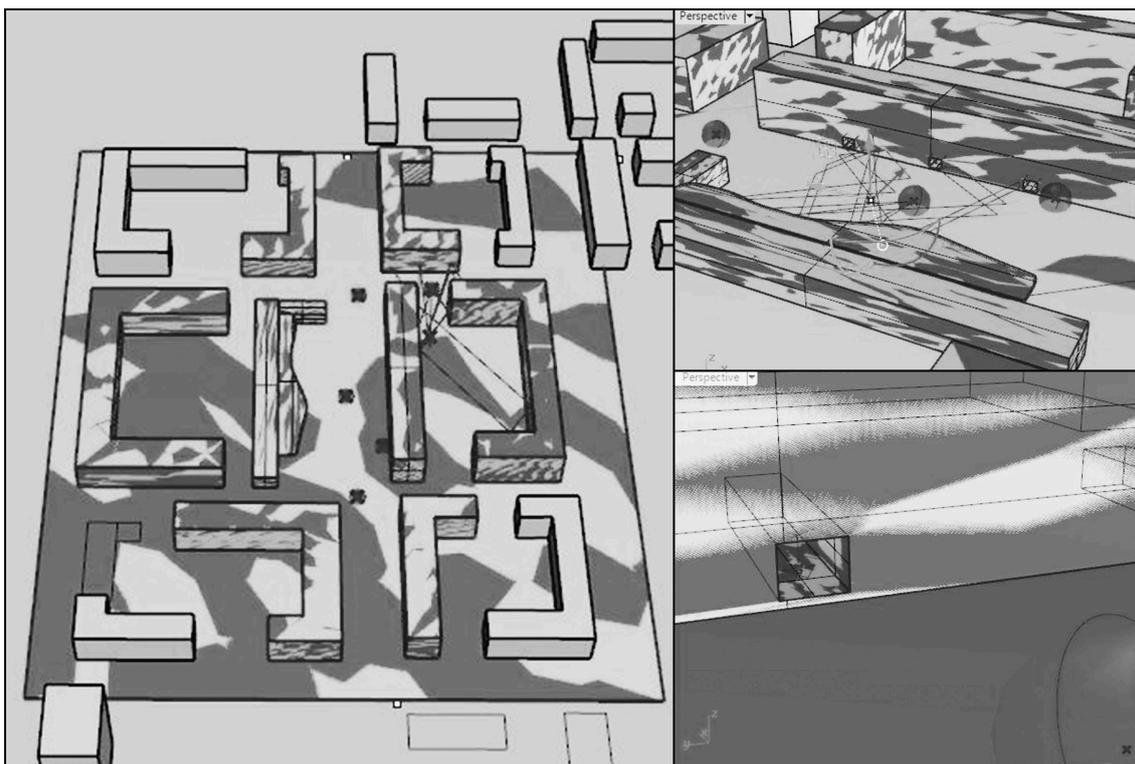


FIGURE 6.5 – «Interreaction» / Esquisse de projet urbain avec *EsquisSons* dans Rhino : représentation des morphologies, des sources et de leurs propagations dans l'espace

### « Le Banc Volant »

(Marie-Caroline Conin, Laëtitia Chamekh, Sami Ramzi Chibane, Mylène Le Lamer)

*Travail sur la hauteur et la modification d'une source sonore (un jeu de ballon) avec l'outil Esquis'sons dans une tour du quartier Village Olympique.*

Ici c'est le rapport au sol qui est interrogé directement avec l'esquisse sonore qui permet de se déplacer en hauteur et donc de tester par l'écoute, les rapports de proximités et d'étendues du territoire, du quartier et de l'édifice. Cette proposition illustre le potentiel immersif d'une posture d'écoute, puisqu'il ne s'agit pas ici de proposer une transformation, mais simplement d'explorer et de transformer les perceptions d'une même configuration par la position du corps (virtuel) dans l'espace.

### Catégorie 3 : le scénario (immersion)

#### « De la fontaine au marché »

(Sylvain Biquand, Julie Debarbieux, Simon Thibert)

*Conception d'une ballade sonore disponible sur smart phone à partir de l'esquisse sonore réalisée avec EsquisSons. Les participants proposent ici un nouveau Vigny-Musset sonore en transformant les sources du quartier. Dans la maille orthogonale, le groupe veut créer des pôles sonores forts. Il propose d'implanter des sources charismatiques et de polariser la vie publique pour rendre aux cours leurs rôles d'espaces d'intimité (esquisse d'un marché, insertion d'une fontaine, marqueur sonore fort au milieu d'une place, création d'une serre tropicale, etc.)*

Ici, uniquement par le son, les participants esquissent des changements et des implantations d'équipements pour transformer radicalement le quartier. Cette posture du son comme matériaux de qualification des espaces les amènent vers une "caricature" des espaces sonores des rues et des parcs qui permet d'accentuer les différences avec les cœurs d'îlots plus privatifs. La proposition mobilise à la fois *EsquisSons* pour la réalisation de l'esquisse sonore dans le modèle, mais aussi un outil numérique supplémentaire qui permet de se balader littéralement dans l'esquisse en utilisant la position GPS de son téléphone. Cela permet d'arpenter le quartier et d'entendre l'esquisse sonore relativement à l'espace que l'on occupe ou que l'on traverse et rajoute un nouveau degré d'immersion à l'esquisse sonore que l'on peut ainsi écouter *in situ*.

*On peut également replacer dans cette catégorie les productions précédemment citées « **Variation en suspension** » et « **Le Banc Volant** »*

#### Enjeux transversaux

On repère comme éléments importants de ce deuxième atelier quatre enjeux qui permettent de regrouper les productions et les utilisations de l'outil :

- Les enjeux spatiaux que nous avons pu relever ici englobent principalement des dispositifs de petite taille et de faible impact morphologique. Ceux-ci sont couplés à une recherche d'effets maximums sur le reste de l'environnement sensible et donc sur les conditions de possibilités d'ambiance associée à ces dispositifs.
- Les enjeux d'usages sont présents « naturellement » par le travail de compositions des sources qui doit être effectué par l'utilisateur. Ainsi il construit des associations ou des dissociations d'usages projetés ou existants. Ce jeu, même s'il peut être risqué lorsqu'il présuppose une « vérité » dans le projet apporte dans l'essence même de chaque proposition la prise en compte des usages et du

vécu.

- Les enjeux de représentations incitent à penser une nouvelle manière de présenter une projection. L'enjeu principal étant de ne pas en faire une unique question d'exposition (à l'autre) mais bien d'établir une représentation, interface entre le projet et le monde, introduisant un rapport particulier entre le concepteur et l'esquisse. En interagissant avec un média différent, l'utilisateur se trouve confronté à d'autres éléments du projet habituellement laissés de côté (le son et le temps notamment) et qui potentiellement « orientent » la conception vers d'autres leviers de projet non strictement morphologiques .
- Les enjeux liés aux imaginaires de projet se retrouvent associés à une posture de parcours, à des effets qui peuvent être écoutés et transformés, et donc à une appropriation ou à un usage qui relèvent d'une expérience "dans l'acte", c'est à dire qui passe par une plongée dans l'espace modélisé et son environnement sonore esquissé. Ainsi l'utilisateur conçoit directement dans l'esquisse du projet en devenir et en fait l'expérience ce qui transforme son rapport à ce dernier. Cette nouvelle forme d'imaginaire entre le vécu et le projeté permet alors de faire émerger des nouveaux processus de conception comme avec l'exemple "*De la fontaine au marché*" qui utilise l'esquisse comme support à une expérience interactive du site ou encore avec la proposition "*In Terre Action*" qui s'appuie sur l'expérience de la situation existante pour la transformer par l'écoute dans l'esquisse et ainsi construire un imaginaire de projet par l'expérience.

### 6.3.3 Questionnaire

Suite au premier terrain d'étude, nous avons décidé de mettre en place un questionnaire en fin d'atelier pour chercher à récolter cette fois des résultats plus systématiques et associés à l'outil notamment sur son utilisation et ses potentiels. Le questionnaire est volontairement non orienté pour laisser au participant la possibilité de réponses ouvertes. Cette semaine d'atelier ciblant particulièrement l'utilisation d'*EsquisSons* comme méthode, les réponses englobent naturellement son utilisation. La pertinence de ces questionnaires se révélera plus en avant de ce travail lors des croisements que nous pourrons opérer entre les différents ateliers. Néanmoins on constate ici certaines qu'on résumera ci-dessous.

#### Un avis « affecté »

Il est important, avant d'étudier ces résultats, de constater la dimension "évaluative" que prend ce questionnaire à l'issue d'une formation intensive d'une semaine. On remarque par exemple une constante positive voir très positive à la première question "avis global" et on peut autant expliquer ces résultats par une vraie apprê-

ciation de l'outil que par une bienveillance affective associée au déroulé de la semaine intensive dont l'objectif était de réfléchir et de faire les expériences ensembles. Pour cette raison on gardera à l'esprit cette proximité installée et on ne remarquera pas l'« avis » global sur l'atelier qui opère ici plus comme une question test pour amorcer le questionnaire plutôt qu'un réel résultat pertinent pour notre travail.

### Les orientations vis-à-vis de l'outil EsquisSons

Notre première idée est d'extraire une donnée quantitative informant de manière globale la position des participants vis-à-vis de l'outil. Pour ce faire nous avons choisi de regrouper leurs réponses ouvertes sous trois grandes catégories, les « désintéressés », les « neutres » et les « intéressés ». On s'appuie pour cela sur une lecture transversale des données en focalisant notre analyse sur les réponses aux questions : « *Quelle appréciation portez-vous sur cette formation ?* » et « *Pensez-vous que le contenu abordé est transférable à votre situation professionnelle (Oui, dans quel cadre ? / Non, pourquoi ?)* ». Les réponses à la première question englobent souvent des avis généraux qui permettent de donner des indices sur l'intérêt porté à l'outil là où la seconde question permet de préciser si oui ou non *EsquisSons* pourrait être utilisé par la suite et pourquoi. En cherchant à segmenter de la sorte les réponses au questionnaire, on peut présenter une lecture sur 15 réponses, de quatre appréciations plutôt « désintéressée » de l'outil, six neutres et cinq intéressées<sup>7</sup>. Ce premier regard n'est pas significatif si on y cherche une inclinaison particulière. Il nous informe en revanche d'une uniformité des positionnements vis-à-vis de l'outil et cela après une semaine d'utilisation (non exclusive) de ce dernier. On peut donc supposer des « prédispositions » ou comme nous les avons appelées des « inclinaisons » chez les utilisateurs que l'outil n'est pas en mesure de faire changer radicalement. Néanmoins pour confirmer cette affirmation, il aurait fallu proposer un questionnaire du même type en début d'atelier. Il faut également prendre en compte dans ce résultat la diversité des profils personnels et professionnels des participants qui ne s'intéressaient pas tous aux enjeux de conception spatiale « *Les approches plus urbanistiques et architecturales (plus techniques) me concernent moins* »<sup>8</sup>

#### 6.3.4 Un questionnaire orienté vers la formation

Le travail de questionnaire constitue pour nous un double apport, il permet à la fois de regrouper des avis sur la durée des différentes formations, mais aussi de faire émerger des pistes d'améliorations qui pourront venir nourrir notre démarche itérative de développement logiciel. Ces indications pour perfectionner l'outil sont aussi des indications pour orienter et amender les ateliers à venir et ainsi notre méthode qui s'appuie principalement sur la formation pour tester l'outil. De cette façon

7. Voir la première annexe sur les questionnaires : École d'hiver 2017 A.1, page 244,

8. Voir la première annexe sur les questionnaires : École d'hiver 2017 A.1, page 244,

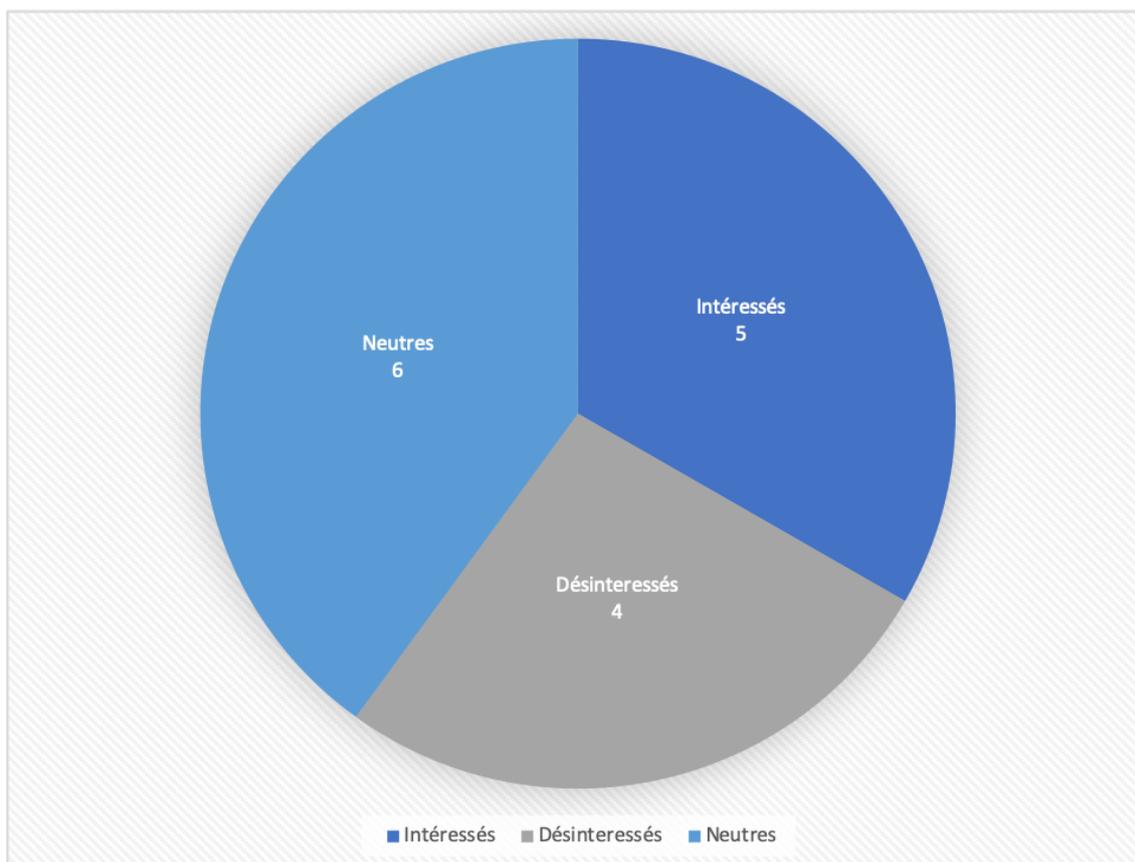


FIGURE 6.6 – Appréciations globales des participants à l'école d'hiver 2017 sur l'outil EsquisSons

les questions sont toutes articulées autour de la formation. Au-delà de l'intérêt de contenu que nous venons d'évoquer, ils s'agit également d'une manière de "détourner le regard" des enjeux de "fonctionnement" de l'outil afin de limiter le nombre de biais que nous pouvons fabriquer avec ces méthodes. Il nous revient ensuite d'analyser ces réponses pour en extraire des informations sur le fonctionnement.

Si l'on regarde plus en détail les réponses qui nous ont permis de fabriquer ces appréciations générales, on constate un large panel positif en ce qui concerne la dimension opératoire de ce type d'outil et notamment pour certain la volonté de prise en compte des enjeux que mobilisent le sonore dans la conception. On retrouve parmi ces retours la possibilité de *"transmettre un projet par le son"* ou encore de *"développer une conscience de construction par rapport au sonore"*. D'autres expriment que le logiciel "aide à sensibiliser", et plus particulièrement qu'il permet de faire le lien entre la théorie et la pratique du sonore<sup>9</sup>.

9. Voir la première annexe sur les questionnaires : École d'hiver 2017 A.1, page 244,

### 6.3.5 Des apports méthodologiques et opérationnels

Cet atelier était pour nous l'occasion de tester de manière concrète un premier aboutissement de développement et ainsi d'extraire des grandes tendances pour poursuivre les améliorations tant méthodologiques que pratiques. Tout d'abord dans l'utilisation de l'outil - que chaque groupe de participants a pu orienter à sa manière - et qui nous a permis de constater des similitudes dans les modes d'agir ou d'interagir avec *EsquisSons*. En effet, dans l'usage (bien que ponctué de difficultés techniques), la dimension sonore est immédiatement présente et génère une "appropriation" forte par l'utilisateur qui interagit directement avec l'environnement qu'il esquisse. L'auralisation permise par l'outil mobilise d'avantage chez le concepteur sa perception propre qu'une perception traduite et objectivée par les outils métrologiques. Ici, les participants échangent directement "comme s'ils y étaient" et naviguent très intuitivement à travers des problématiques complexes qui articulent morphologies, usages et matérialités<sup>10</sup> à travers le prisme du sonore. L'observation des participants pendant leur utilisation d'*EsquisSons* a également permis d'extraire un invariant qui est celui de l'immersion. On a pu relever que l'association de l'action (l'écoute) et des dispositifs (casques audios<sup>11</sup>) permettait ou orientait une posture localisée "à l'intérieur" du modèle. L'esquisse n'est alors plus un objet à distance mais bien un espace -virtuel- que l'on peut approcher par le dedans. Cette posture amène alors une partie des utilisateurs à dépasser une attitude de spectateur et provoque une attitude d'acteur "dans" le projet. On peut particulièrement observer cette spécificité lorsque les participants font le choix de fabriquer ou de transformer des sons de la scène sonore par d'autres moyens qu'avec l'espace. Ils deviennent acteurs de l'esquisse en se déplaçant à l'intérieur<sup>12</sup>, mais aussi parfois en diffusant des sons peu communs ou très transformés<sup>13</sup>; comme un musicien qui proposerait la diffusion d'une de ses "pièces" dans un environnement architectural ou urbain.

---

10. Voir les exemples des productions «Amers sonores », ou « Interre-action » section 6.3.2, page 153,

11. Chaque groupe a travaillé au casque avec un système de pieuvre pour pouvoir écouter en ensemble

12. Voir "Le banc volant", page 157

13. Voir "De la fontaine au marché", page 158

## 6.4 Carnets de terrain - Option « design sonore et acoustique architecturale » 2017/2018

*Nombre de participants : 15*

*Discipline : Architecture,*

### 6.4.1 Présentation et déroulé de l'atelier

Nous sommes ici dans un cadre différent des ateliers présentés précédemment puisqu'il ne s'agit pas d'une école thématique ouverte à tous, mais d'un atelier mené dans le cadre d'un enseignement de master dans une école d'architecture. Cet enseignement s'est avéré être un terrain pertinent pour notre travail puisqu'il présentait des similitudes logistiques et temporelles avec l'école thématique du cresson (travail intensif, atelier sur une semaine à temps plein). Les participants sont ici tous en formation à l'architecture et au projet et ces ateliers fonctionnent comme des options que les étudiants peuvent choisir pour élargir ou approfondir leurs approches de la discipline (*On retrouve donc pour la majorité d'entre eux une volonté de s'intéresser au sonore malgré des provenances de filières et d'obédiences différentes dans l'école*). Enfin bien sûr on retrouve des connivences dans les objectifs (introduire à la question du son dans l'espace, aux méthodes d'analyse de l'environnement sonore et sensible et à la conception avec ces derniers) qui permettent de proposer directement l'outil comme une méthode de travail.

Le temps entre les deux phases de terrain à cette fois été plus court (environ 7 mois) et nous avons volontairement essayé de rester dans les mêmes configurations logistiques et didactiques pour pouvoir mener des comparaisons. Comme nous l'avons dit précédemment, en faisant varier le "statut" de ces ateliers pour expérimenter l'outil, nous pouvons élargir les expériences et ainsi ne pas baser notre travail et nos analyses sur un cadre unique.

#### **Cadre particulier : l'enseignement**

Comme précisé, il s'agit ici d'un enseignement qui implique de fait un rapport particulier des participants à l'atelier et aux consignes. Nous sommes en effet dans la posture de l'"enseignant" et les participants dans celle de l'"étudiant" et cela même en essayant de construire d'autres rapports. Ce cadre particulier du rapport hiérarchique enseignant/étudiant dans la pédagogie n'est pas l'objet d'étude ici, mais il a pu parfois orienter ou teinter certains usages ou certaines actions avec l'outil et il est important de le garder en tête lors de la lecture des ateliers suivants.

Notre méthode propose de se focaliser sur les comportements et sur les résultats pour appréhender les potentiels, ce qui permet en partie de contourner ce biais. En effet, l'outil étant le cadre méthodologique des exercices, la frontière est floue avec

une utilisation "imposée" mais il est assez facile de déceler dans les manières d'être avec l'outil si une réelle volonté de l'investir anime les participants

On constate ainsi dans les productions de fortes disparités d'investissements que nous n'avons pas souhaité filtrer. On peut appréhender de cette façon une vision d'ensemble parmi les participants à cet enseignement.

### Objectif et enjeux

L'objet de cet atelier était de faire travailler les étudiants sur un espace urbain « en devenir » : le quartier de l'esplanade à Grenoble qui était à cette époque au cœur d'un processus de concertation et de conception. La situation et la proximité géographique permettaient ainsi de disposer de différents éléments sur le site, mais aussi de l'explorer à travers ses qualités et ses défauts. L'angle sonore pouvant ainsi - peut-être - permettre d'aborder la question selon de nouveaux enjeux que ceux déjà exposés et mis en valeur par les acteurs (municipalité et concepteurs).

Les objectifs énoncés sont ici d'interroger un quartier et une place en entrée de ville qui fait cohabiter dans une échelle spatiale très resserrée des usages et des fonctions très diverses. Ainsi doivent s'articuler une autoroute urbaine, une voie verte, une ligne de tramway, un quartier industriel en mutation vers du résidentiel et cette grande étendue "non qualifiée" qu'est la place de l'esplanade.

Comme dit précédemment, le choix a été fait de présenter les enjeux, le site et ensuite l'outil dans un cadre similaire à celui de notre terrain d'étude précédent. Ainsi, les étudiants ont pu découvrir l'outil *EsquisSons* lors d'une première présentation instrumentée, dans une salle équipée et sur un temps long<sup>14</sup>

À la différence des écoles thématiques qui s'adressent à une population qui a déjà un bagage d'étude ou professionnel sur la question, les étudiants ne présentaient pas de connaissances spécifiques sur les questions et les univers que peut convoquer le sonore. De plus, destiné à un enseignement en architecture, cet atelier a volontairement été orienté vers la conception spatiale à l'échelle urbaine (locale) et architecturale avec comme objectif de proposer cette focale sur le son comme particularité de la semaine.

De la même manière que pour le corpus précédent, la présentation instrumentée a permis aux étudiants à la fois de découvrir l'outil, son cadre logiciel et son interface utilisateur puis ce qu'il était possible de faire entendre avec. Ensuite, un temps dédié leur a été laissé pour qu'ils puissent s'en emparer directement afin de tester, expérimenter, mais aussi poser des questions sur certains points bloquants ; qu'ils soient techniques et pratiques pour mieux maîtriser l'utilisation ou encore "analogiques" et théoriques pour connaître/comprendre des résultats et des effets spatio-sonores possibles :

---

14. Voir description de la présentation instrumentée dans le carnet de terrain "École d'hiver 2017", page 151

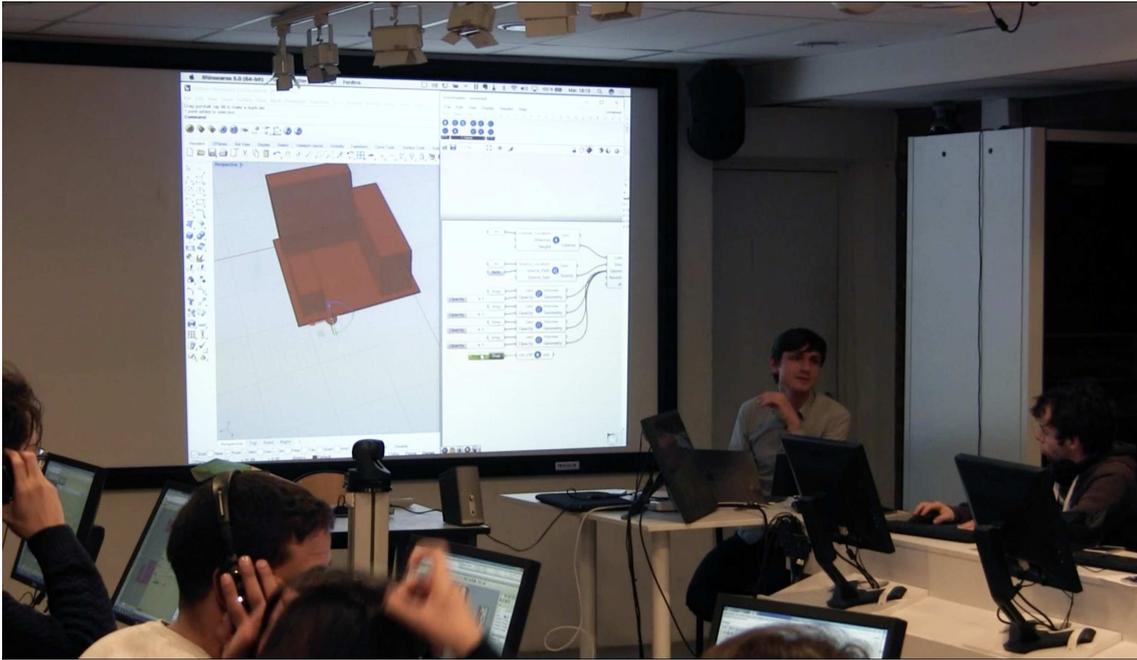


FIGURE 6.7 – Présentation instrumentée de l'outil - *photo : juL McOisans*

- *Comment est ce que l'on déplace une source ?*
- *Qu'est ce que ça change de modifier l'opacité d'un élément ?*
- *Pourquoi je n'entends pas cette source ?*
- *Est-ce que si je recouvre cet espace avec ce volume je vais entendre une différence de l'autre côté ?*
- *Comment je peux faire pour moins entendre cette source depuis ce point ?*

Il faut noter ici que la majorité des étudiants ne maîtrisait pas non plus l'outil "hôte" qu'est Rhinoceros ainsi que son *plug-in* Grasshopper<sup>15</sup> ce qui implique une introduction rapide à cet environnement de travail. Pour autant on constate avec cette méthode de l'atelier instrumenté que cela n'a jamais été un frein à l'entrée dans l'outil et dans les enjeux sonores qu'il mobilise. Cela s'est plus ressenti dans la suite de la semaine et a pu ralentir certains étudiants dans l'appropriation de l'outil. En effet, lors de l'avancée sur les projets une partie des étudiants a continué de solliciter une aide technique de fonctionnement pour pouvoir mener à bien ses recherches et ses productions.

Dans un deuxième temps l'atelier a consisté à aller sur le terrain de travail pour pouvoir l'appréhender dans sa globalité et dans sa complexité, mais aussi pour l'écouter et déceler ses spécificités et ses "défauts". En parallèle de cet "arpentage", chaque groupe d'étudiant avait un enregistreur audio pour pouvoir capter des fragments de scènes sonores dans le but de les réimplanter par la suite dans le modèle numérique

15. Voir Chapitre 5 : Premier corpus, l'outil. page 103

et ainsi de pouvoir "jouer" avec l'environnement sonore existant dans *EsquisSons*.

### Les étapes du processus de projet

La fin de la semaine a ensuite été dédiée à la réalisation des projets dans l'outil *EsquisSons* et cela en suivant une routine qui avait pu être trouvée lors des ateliers précédents.

#### — Modélisation de la géométrie

Les premières étapes du travail consistent pour chaque groupe à modéliser dans l'environnement de Rhinoceros 3D les géométries qui fabriquent le ou les espaces sur lesquels ils souhaitent travailler. Ils pourront ensuite esquisser de la même manière leurs premières volontés d'interventions matérielles et spatiales.

#### — Positionnement des sources dans le modèle

Après avoir mis en place le modèle, les étudiants positionnent les différentes sources principales qui fabriquent selon eux les scènes sonores à la fois sur la base de l'étude qu'ils ont pu faire en atelier et sur site. Ils peuvent notamment positionner certaines sources qu'ils ont volontairement captées *in situ* et dont ils connaissent précisément la position et l'emprise dans le site.

#### — Recherche de sons

Enfin, la dernière étape consiste à "appliquer" à ces sources des sons, et donc à rechercher ceux manquants par rapport aux sons de base et à leurs enregistrements. Pour cela et selon les cas ils utilisent des ressources libres en ligne et retournent sur le site ou ailleurs pour capter des futures sources de l'esquisse.

Dans ces trois étapes, on voit déjà que chaque acte est souvent associé à une orientation ou à un choix pour la suite de leur projet, mais surtout que le travail de l'espace ne se résume plus à la modélisation en trois dimensions d'une ou plusieurs morphologies. Ils positionnent - consciemment - à l'intérieur de ce modèle qu'ils ont dessiné des sources sonores qui sont elles-mêmes liées à différents choix de projets ou à des existants.

Enfin, on ajoute au retour visuel de ce que l'on fait un retour sonore. Certains écoutent en direct le résultat de leurs modifications et d'autres choisissent d'activer l'auralisation par intermittence de telle sorte qu'ils modélisent, écoutent, remodelisent, ré-écoutent, etc. C'est précisément ce retour audio qui rajoute tout un calque de complexité aux projets et surtout au travail sur ces derniers.

#### — Phénomène de boucle

Comme on la déjà indiqué plus tôt, l'outil produit à ce moment une dynamique itérative qui fait que les étudiants reviennent - après l'écoute - sur la modélisation pour transformer les morphologies, les caractéristiques des matériaux, requalifient ou repositionnent les usages et donc les sources et vont rajouter ou transformer certains sons selon l'évolution du projet.

## 6.4.2 Productions et résultats <sup>16</sup>

On constate dans les résultats de cette semaine que tous les rendus sans exception ont utilisés l'outil *EsquisSons*. Il serait intéressant de voir dans quelle proportion cette différence est due au cadre « scolaire » de l'atelier et surtout à la place centrale de l'outil dans l'exercice pédagogique. Malheureusement nous n'avons pas pu mener d'atelier avec cette seule variable pour pouvoir comparer précisément les différences. Nous avons donc fait le choix d'ajuster le cadre du dernier atelier <sup>17</sup> pour légèrement "sortir" *EsquisSons* de l'exercice et ainsi comparer dans quelle mesure cela va impacter les utilisations.

Le résultat prend la forme de cinq productions audiovisuelles dans lesquelles on peut voir et entendre les choix et les expérimentations réalisées avec *EsquisSons*. Nous avons choisi d'utiliser la méthode de la vidéo pour filmer la restitution des travaux et ainsi permettre l'analyse visuelle et textuelle de la discussion finale. On propose ici de retranscrire l'essence de chaque choix et proposition des travaux réalisés.

Nous constatons que chaque production s'intéresse - avec des approches différentes - à travailler les liens entre les espaces grâce à la composante sonore et par une pensée simultanée des morphologies, des matérialités, des usages des des espaces. On catégorisera ici les productions selon les stratégies employées pour travailler ces liens et l'on reprendra de quelle manière les différentes composantes précédemment citées sont mobilisées dans la conception.

### Catégorie 1 : les seuils, séparations ou articulations (dispositif spatial) <sup>18</sup>

( Les propositions qui s'inscrivent dans cette catégorie font le choix de construire une "frontière" physique et sensible à travers un dispositif spatial. Elles se positionnent entre des environnements fortement différenciés tant sur le plan sonore que sur le plan des usages qui y ont lieu. Cela génère deux dispositifs "à traverser" qui dans des mesures différentes interrogent et clarifie les articulations possibles :

---

#### « Porte des berges »

(Nadia Castagnes, Jordan Vernizeau)

*L'objectif de ce travail était de proposer un contraste entre l'environnement sonore côté route et celui côté place en ajoutant un dispositif faisant à la fois office de limite (physique et sensible) et de passage qui articule les deux environnements.*

---

16. Toutes les esquisses sonores sont disponibles en quatrième annexe, A.4.9, page 294,

17. Voir Option « design sonore et acoustique architecturale » 2018/2019, page 176

18. cette catégorie est la même que celle déjà présentée dans le deuxième corpus, voir 6.3, page 151,

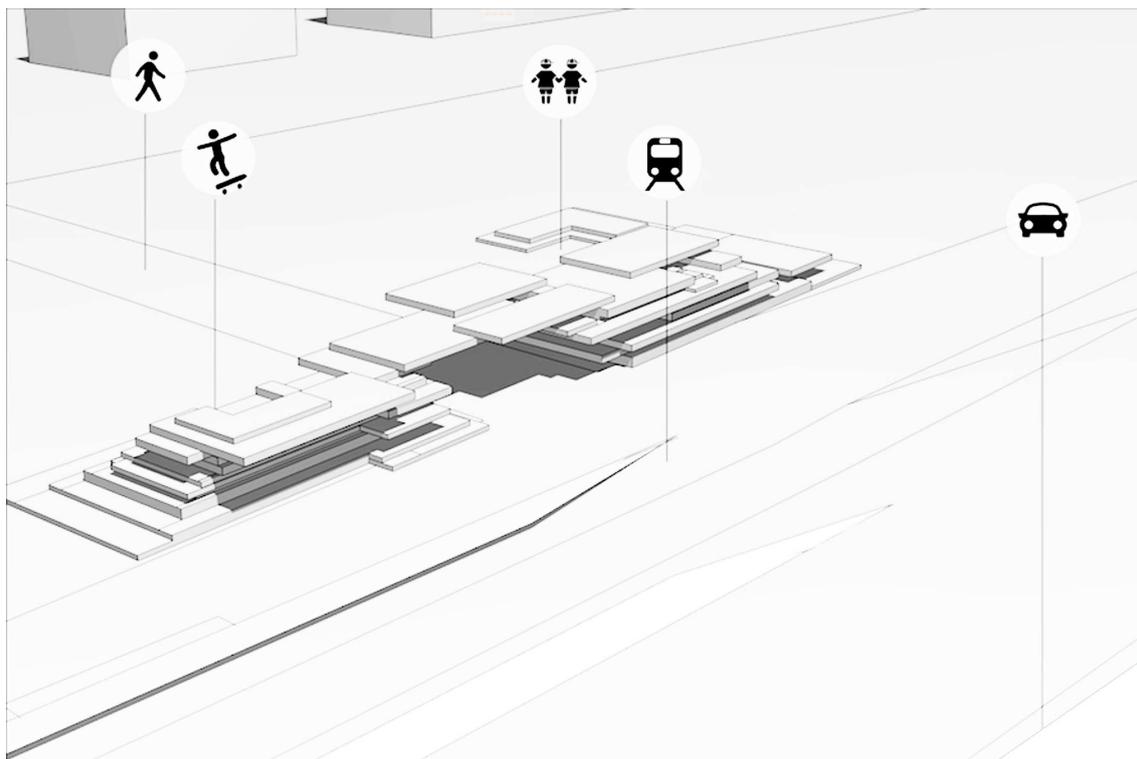


FIGURE 6.8 – "Porte des berges" / Capture d'écran du rendu vidéo : Représentation schématique du dispositif de "porte" proposé pour habiter les deux faces sonores de la place

Ce travail propose de focaliser l'intervention sur un seuil entre trois axes : la vaste étendue de la place, l'arrêt de tramway et enfin le boulevard urbain. Ce seuil est traité ici via un dispositif en strates qui permet de coupler l'accueil d'activités (jeux d'enfants, bancs, skateparc) à un passage limitant les interactions sonores entre la place et les deux axes de transport. La morphologie en strates aide à limiter la réverbération d'un côté et de l'autre du dispositif tout en séparant ces derniers. De plus le fait d'accueillir des activités génère de nouvelles sources qui fabriquent une identité sonore à l'espace tourné vers la ville qui produit un effet englobant lorsque l'on franchit le seuil du tramway vers la ville et ainsi propose un "point d'accroche" visuel et sonore à l'esplanade.

On retrouve dans ce travail un effet sur les échelles de perception qui deviennent "modulables" selon la position que l'on prend par rapport au dispositif : d'un côté on entend les axes de transport qui prédominent sur le reste de l'environnement formant un tout proche et lointain à la fois ; de l'autre on est englobé dans un environnement proche très présent par les activités de jeux, la morphologie qui se retourne sur elle-même, mais aussi les matérialités avec un sol en gravier très présent tant sur le plan sonore que tactile. Enfin la possibilité de gravir le dispositif permet de se positionner plus ou moins à l'intérieur de ce milieu englobant, de retrouver les sons de la ville

et des axes de transports, et ainsi de construire avec finesse un rapport entre les sons proches et les sons lointains. Ce que l'on peut par ailleurs soulever c'est que ces modulations possibles offertes par le dispositif n'ont pas toutes été anticipées par les étudiants et c'est justement par la manipulation et l'écoute que certains de ces potentiels sont apparus. De plus, même si elle ne peut pas garantir une effectivité physique totale en raison de son statut d'esquisse, l'auralisation dans *EsquisSons* permet une prise de conscience de certaines possibilités ou opportunités des espaces sonores sur l'expérience et l'usage de dispositifs architecturaux.

---

**«Morphologies urbaines : La place surélevée, le labyrinthe et la promenade »**

(Sarah Bengoua, Lucie Rousset, Lucie Perrier)

*Le groupe a travaillé sur trois hypothèses de morphologies urbaines pour esquisser un même îlot habité afin de tester par l'écoute ces configurations qui amènent des différences à la fois sur les sons propres à l'îlot mais aussi sur les sons environnants*

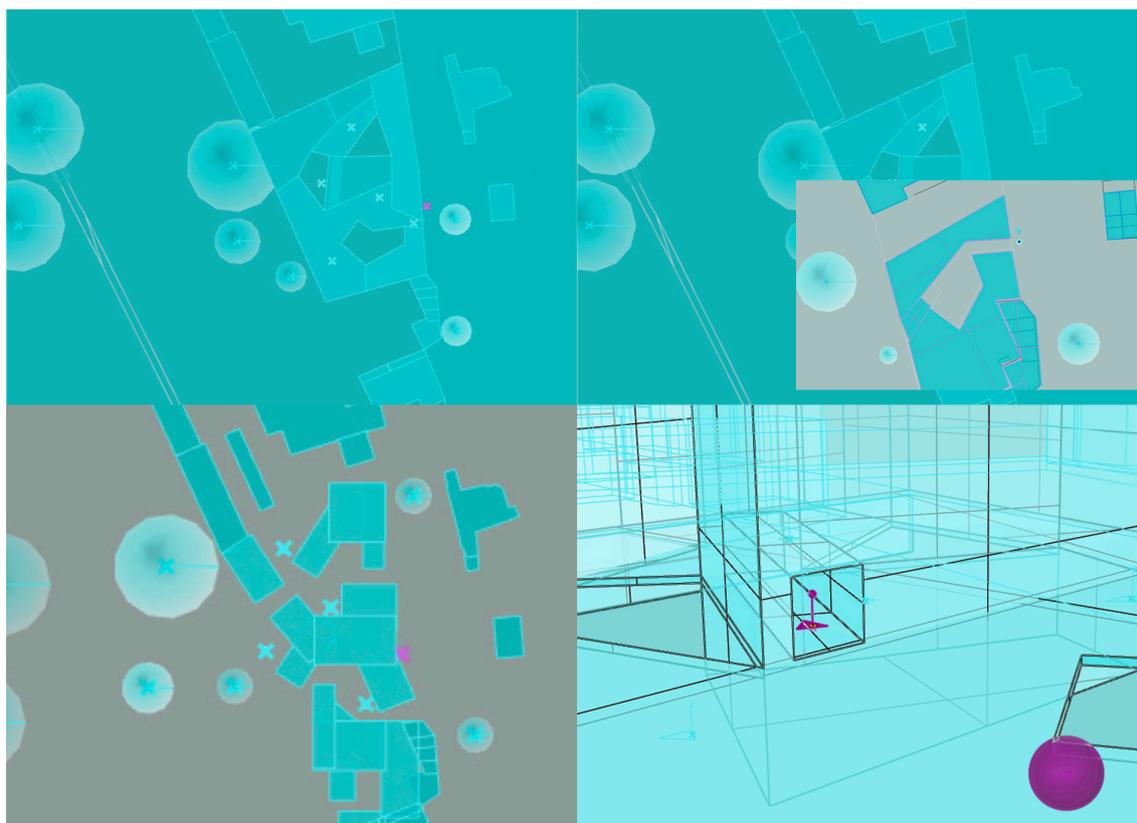


FIGURE 6.9 – "Morphologies urbaines" / Captures d'écran du rendu vidéo : Plans masses des trois configurations urbaines esquissées

La proposition s'est focalisée sur le tissu urbain qui sépare fortement la place à l'ouest de la ville à l'est. Il s'agit ainsi de proposer, par l'architecture d'une partie de ce tissu urbain un travail sur le seuil et la traversée pour articuler les deux environnements. Les trois esquisses d'architectures proposées permettent alors d'expérimenter le résultat des morphologies sur ces "passages" à l'écoute.

## Catégorie 2 : le masque

Dans cette deuxième catégorie, le lien entre les deux environnements est traité par la séparation complète de l'un et de l'autre. Cette séparation a lieu grâce à l'ajout d'un environnement supplémentaire à l' "intersection" des deux. On a donc choisi d'appeler cette catégorie "le masque" qui décrit bien l'ajout d'un troisième élément venant masquer les deux environnements existants l'un de l'autre.

---

### « Une Halle à deux faces »

(Alex Franz, Lucie Gianni, Chalres Grognot, Yassin Ibn Lahmar Andaloussi, Tom Tallon)

*L'équipe propose de travailler sur une programmation de halle "polyvalente" avec une programmation sportive et une programmation marchande. La halle est modulée dans sa morphologie et ses orientations selon les environnements sonores de manière à filtrer et moduler les sons intérieurs et extérieurs à l'édifice*

La halle est positionnée à l'extrémité nord de la place de manière à structurer la "confluence" entre le boulevard et la ville. Lors de l'écoute, on découvre d'abord un côté de la halle, tournée vers le boulevard qui nous laisse entendre un grand volume séquencé par des variations de hauteur. On perçoit particulièrement ces variations qui se voient renforcées par l'activité de skate-parc proposée à l'intérieur et qui de fait, "fait sonner" l'espace et ses singularités. Dans un second temps on traverse une rue intérieure qui construit la limite, mais aussi la transition entre les deux faces de la halle. Là aussi les variations de morphologie - en largeur cette fois - nous font percevoir des dilatations et des resserrements qui viennent rythmer le parcours. Enfin on découvre le troisième volume tourné vers la ville qui présente une variation morphologique linéaire. Ainsi on écoute une grande Halle uniforme occupée par des usages de types "marché couvert". Ce travail cherche ainsi à accorder deux environnements ayant plutôt tendance à se confronter dans leur état actuel, et cela en les séparant par un dispositif spatial supplémentaire qui lui même fabrique de nouvelles ambiances intérieures et extérieures. De plus on note une réelle investigation des étudiants sur les liens entre espaces, usages et sons. L'impact de cette réflexion s'étend à la question des ambiances en son sens large puisque la proposition fabrique des singularités spatiales donnant lieu à des spécificités ambiantales (rapport au ciel, rapport au corps, lumière naturelle, échelles de perception).

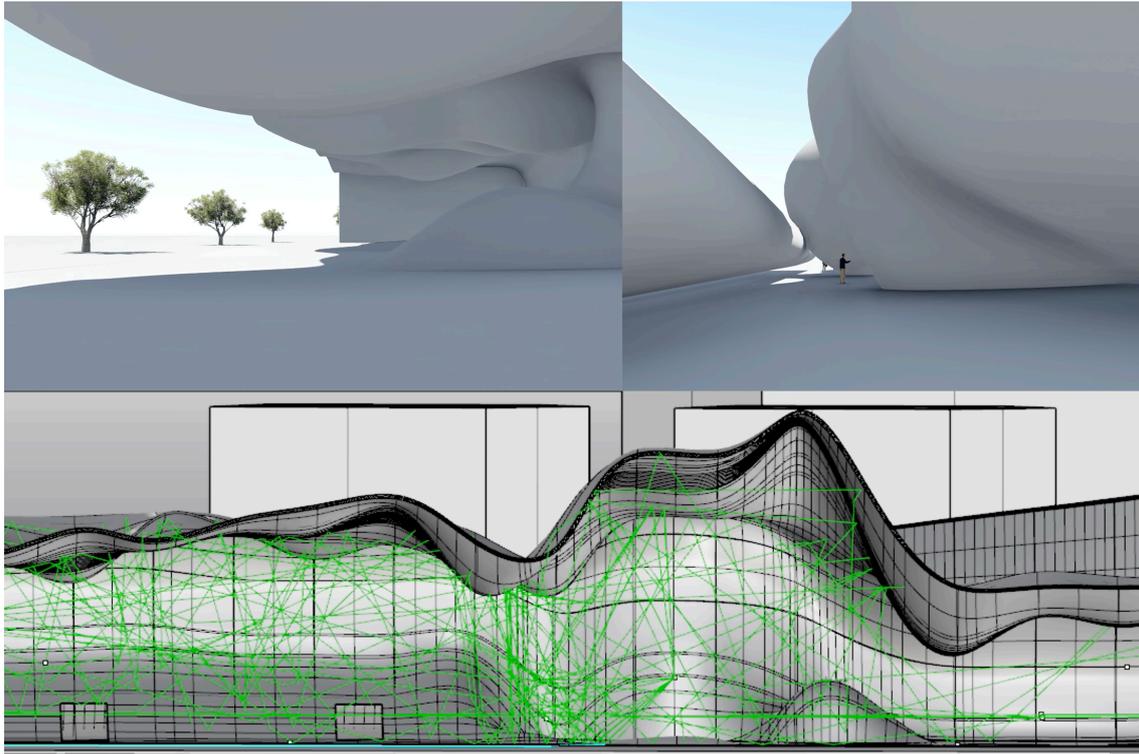


FIGURE 6.10 – "Une Halle à deux faces" / Captures d'écran du rendu vidéo : Représentations perspectives des espaces intérieurs et extérieurs de la halle (en haut) ; Projection visuelle des premières réflexions dans l'édifice (en bas)

### Catégorie 3 : le fil conducteur

#### «La place aux arbres »

(Sandrine Robert, Alae Sayah)

*L'objectif de ce travail part du constat d'une absence de refuges sur la place à la fois très vaste et très exposée. La proposition implante des dispositifs "paraboliques" qui se veulent être des protections aux agressions extérieures (lumineuses, thermiques, aérauliques, sonores) autant que des "émetteurs" de sons et cela afin de créer une rupture avec l'environnement sonore alentour (route carrossable et tramway) par des effets de masque (niches pour accueillir les oiseaux, dispositifs d'eaux, morphologie englobante, etc.)*

Ici le travail est intéressant puisqu'il intègre une "composition" de l'environnement sonore par l'ajout des "arbres" acoustiques qui deviennent, par le jeu de déplacements ou de séjours, des dispositifs d'articulation avec le reste des sons environnants. Il s'agit dans le processus de projet de réfléchir et d'esquisser les sources qui pourraient provenir de ces "arbres" mais aussi leurs positions sur la place qui se calibrent par la distance qu'ils ont les uns avec les autres, et avec les sources existantes. Le dessin des morphologies joue également un rôle de protection ou de projection dans l'écoute depuis les différents points selon les formes des dispositifs. Ainsi, aussi bien pour la modélisation que pour le positionnement des arbres, l'écoute devient le fil directeur et c'est par l'équilibre des sons entre eux selon les situations que les étudiants ont été en mesure d'esquisser des refuges, des repères ou encore des pavillons d'écoute ou de diffusion qui restructurent une partie de la grande esplanade.



FIGURE 6.11 – "La place aux arbres" / Représentation perspective de la place et des dispositifs d'arbres sonores (en haut à gauche) ; Plan masse (en haut à droite) ; Déplacement de l'écou-tant dans la scène sonore (en bas)

### 6.4.3 Questionnaire

Le questionnaire de cette semaine intensive a été modifié par rapport à celui de la cinquième école d'hiver, tout d'abord pour coller davantage au cadre de cette semaine (enseignement/ rapport enseignant-élève / auto-évaluation du contenu, etc.) mais aussi et surtout pour tenter d'extraire des informations plus spécifiques sur l'outil et son utilisation<sup>19</sup>.

Le diagramme d' "appréciation globale" de l'outil que nous avons proposé pour l'atelier précédent s'applique plus difficilement ici, en effet on constate une majorité d'appréciations positives, puis une grande part de neutres et enfin une seule appréciation négative. On ne peut raisonnablement pas interpréter cela comme un résultat significatif étant donné le rapport enseignants/étudiants qui est en jeu ici.

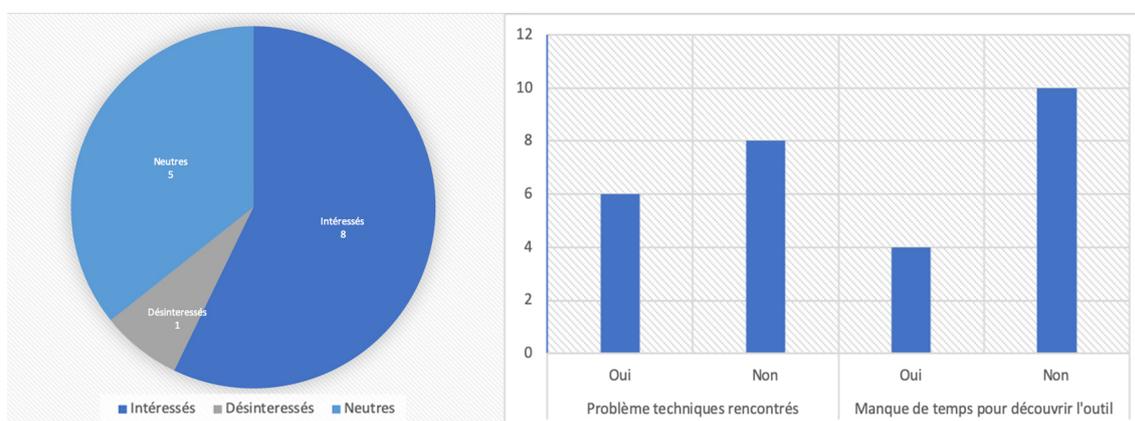


FIGURE 6.12 – Appréciations globales des participants sur l'outil; Soucis techniques rencontrés et manque de temps ressenti. (données extraites des questionnaires réalisés à l'issue de l'atelier de master (2017))

On constate par ailleurs toujours certains freins ou certaines gênes liés à des soucis techniques lors de l'utilisation -et plus particulièrement ici de l'installation- de l'outil malgré les améliorations que nous avons essayé d'apporter à l'outil sur ces points. Par ailleurs, le temps d'utilisation semble rester un élément majeur de la maîtrise de l'outil<sup>20</sup>. Comme on le disait dans les précédents chapitres, ce temps permet la construction de schémas d'utilisation qui permettent ensuite à l'utilisateur de s'approprier réellement l'instrument.

19. On précise ici que les questionnaires sont toujours anonymes

20. Voir figure page 173

#### 6.4.4 Les potentialités et les difficultés avec l'outil

On retrouve également l' "intérêt" suscité par l'outil à travers les réponses au questionnaire. On constate par exemple qu'une majorité des étudiants (79%<sup>21</sup> souhaite pourvoir réemployer *EsquisSons* plus tard dans leurs travaux personnels et/ou professionnels. Parmi ces derniers, on retrouve l'intérêt d'employer *EsquisSons* au début du processus, ou encore comme un outil de test pour essayer des idées : "[pour] tester sur mes futurs projets" ou encore "J'espère pouvoir utiliser *EsquisSons* dans la phase d'esquisse de mon projet à l'avenir". D'autres sont plus spécifiques et le pensent utile pour des projets focalisés sur les enjeux sonores ou à des fins de travail et de rendu plus "immersifs".

On retrouve également dans une proportion importante des retours (35%) une nécessité d'accompagner l'utilisation d'*EsquisSons* par des apports théoriques sur la question du son dans l'espace. Ainsi, l'outil ouvre des perspectives ou des questionnements sur les enjeux mobilisés par le sonore mais ne remplace pas la transmission de connaissances théoriques :

*"temps trop court pour approfondir la question des ambiances sonores"; "manque de temps pour découvrir l'outil, mais aussi pour approfondir la question du son"*

#### 6.4.5 Le son pour la conception

On remarque un certain nombre de réponses qui mobilisent le sensible au-delà du sonore seul et qui conforte une de nos hypothèses sur le potentiel d'un tel outil à décadrer les perspectives de conceptions en ouvrant aux questionnements sur l'environnement sensible.

*"L'angle du sensible est très intéressant et enrichissant"; "aborder le projet par l'atmosphère"; "Apport d'un aspect différent de la conception, une ouverture pas encore abordée au sein du cursus"*

En effet, la possibilité d'écouter ce que l'on dessine semble avoir ouvert chez les participants de nouvelles interrogations sur l'ensemble du spectre sensible et plus particulièrement semble avoir présenté sous une nouvelle perspective les enjeux de la conception spatiale en proposant de se focaliser sur les effets d'un dispositif spatial sur son environnement, sa réception sensible et ses usages.

Enfin, et cela est sûrement dû au contexte disciplinaire de l'atelier, les réponses au questionnaire mettent ici beaucoup plus en avant le lien fort entre l'écoute que permet *EsquisSons* et la modélisation/le dessin des espaces :

---

21. Voir la première annexe sur les questionnaires : Option design sonore 2017/2018 A.1, page 244,

*"Utiliser EsquisSons pour [...] concevoir une ambiance sonore, se rendre compte [des] qualités acoustiques"; "C'est un moteur du projet supplémentaire"; " Permet d'esquisser les conditions sonores [des] espace[s]"; "prise en compte des sons urbains dans la conception"; "apport de l'outil pour la réflexion sur les formes et typologies urbaines"*

#### 6.4.6 L'écoute en direct

Il s'agit du premier atelier directement porté sur la formalisation d'une proposition spatiale avant tout ; et on peut constater que l'immédiateté de l'écoute permet de construire un lien fort dans le processus de conception entre les morphologies et les sons. On constate en effet que c'est cette écoute en direct permet de tester, voire presque de "jouer" avec le son et l'espace. Cela permet notamment de réaliser l'importance du pan perceptif dans nos expériences quotidiennes. Cette particularité est apparue lors des temps clefs de cet atelier où l'immersion comme "vecteur" de sensibilisation aux enjeux du sonore et de la perception, a joué un rôle crucial. On constate par exemple de vrais efforts de tentatives chez les participants qui, par l'écoute, vont comparer des situations et évaluer des configurations d'usage et d'espace selon ce critère précis de l'expérience sonore. On observe d'ailleurs que les propositions faites par les étudiants pour restituer leur travail comportent soit une comparaison de situations , soit une mise en opposition de plusieurs dispositifs ou espaces qu'il s'agit d'appréhender par comparaison de l'écoute et donc des environnements sonores avant même leur aspect morphologique.

#### 6.4.7 Distances et corps dans l'espace

Cet atelier a également permis aux étudiants d'explorer par le sonore la question des échelles et des distances. On constate ici un impact sur la "prospective spatiale", qui implique de réfléchir les espaces non seulement dans leur environnement proche, mais aussi dans leur rapport à l'environnement lointain et par les inter-connexions perceptives que cela implique. Nous pouvons notamment observer comment une grande partie des productions s'est attachée à réfléchir à la fois l'impact local et global de leurs propositions à travers des essais de "rééquilibrage" ou de mise en opposition des plans sonores qui composent la place. Ce qu'il est intéressant de noter, c'est que c'est toujours le corps, à travers sa position, son déplacement, voire même sa posture dans certains cas qui gère la modularité entre ces plans sonores. Les dispositifs spatiaux sont alors conçus par implication de l'écouter et pour le vécu de l'espace.

## 6.5 Carnets de Terrain - Option « design sonore et acoustique architecturale » 2018/2019

*Nombre de participants : 16*

*Discipline : Architecture,*

### 6.5.1 Présentation et déroulé de l'atelier

Cet atelier correspond au deuxième enseignement dit "intensif" sur l'acoustique architecturale et la conception spatiale avec *EsquisSons* et il reprend les mêmes modalités administratives que le précédent<sup>22</sup>. Il s'est déroulé un an après le premier et cette période nous a permis, là encore, de faire évoluer la méthode et l'outil.

Ce quatrième atelier porte toujours sur les mêmes enjeux pédagogiques, mais a cette fois été orienté vers un travail à une échelle plus spécifique de manière à faire travailler plus précisément les étudiants sur un « dispositif » architectural et sonore. Cela nous permettra notamment de ré-interroger les potentiels sur les dimensions et les perceptions proches et lointaines que nous avons commencé à entrevoir précédemment avec un contexte pédagogique qui les mobilisent moins.

Il a été proposé aux étudiants d'aborder par l'angle sonore différentes architectures en contextes urbains ou péri-urbains à usage d'habitation et pouvant bénéficier d'interventions architecturales en façade de type balcon, terrasse, loggia ou coursive (On reprend ici les catégories "BLTC" élaborées lors de la recherche ADEME présentée en introduction<sup>23</sup>). Ce cadre pédagogique avait pour avantage de laisser de la liberté aux étudiants sur la morphologie de leurs propositions tout en contraignant à la prise en compte d'un existant qui englobe usages/matérialités et contexte. De plus le travail sur des dispositifs de façades reste une mesure raisonnable pour pouvoir élaborer une proposition sur un temps de trois jours tout en laissant la possibilité d'appréhender un outil et des enjeux potentiellement nouveaux pour certains. L'intention pédagogique est alors de tester des dispositifs de balcons ayant des vertus sonores par leurs relations au-dedans et au-dehors, par leurs morphologies et/ou par les possibilités d'usages qu'ils proposent.

### Préambule au travail de projet

Suite aux retours formulés lors du premier atelier concernant le besoin d'un apport sur le son et l'espace en parallèle de l'utilisation d'*EsquisSons*, nous avons choisi d'amender le temps d'écoute et de prise de son en demandant un travail d'analyse aux étudiants. Ils devaient alors rendre compte des spécificités (à travers des effets

---

22. Voir la présentation du terrain "Option design sonore et acoustique architecturale 2017/2018", page 163

23. Voir page 15

sonores ou des catégories de configurations notamment) pour une configuration urbaine ou péri-urbaine qui présenteraient les caractéristiques du cadre du projet à venir (*architectures à usage d'habitation et pouvant bénéficier d'interventions architecturales en façade*).

Ainsi ce premier temps consacré à l'écoute de l'environnement, puis à son analyse et à sa "capture" a permis de formaliser puis de répondre à certaines interrogations sur le son dans l'espace. Il également été l'occasion pour les étudiants de faire un travail de prise de son en anticipation du travail d'esquisse. Néanmoins, cette nouvelle organisation de l'atelier a considérablement réduit le temps consacré à l'outil et à son utilisation qui s'est faite sur trois jours au lieu de cinq précédemment.

### Les sites de projet pour les dispositifs de façade

Dans un second temps est donc venu le moment de l'élaboration d'un travail prospectif avec la focale sonore dans des contextes différenciés d'habitat collectifs :

- Deux sites de projet étaient situés sur les Grands boulevards à Grenoble qui se composent d'immeubles de 10 étages faisant face d'un côté à un boulevard urbain très large accueillant 6 voies de circulation, de larges trottoirs et une ligne de tramway ; et de l'autre à la ville plus basse : toits, cœurs d'îlots et rues.
- Un site de projet se situe au niveau de deux immeubles d'habitations construits dans la fin des années 60 à Firminy. Les deux édifices surplombent un environnement calme, pavillonnaire et sont adossés à une colline non bâtie.
- Enfin le dernier site est la cité de l'abbaye à Grenoble : une cité ouvrière du début du XXe siècle organisée en trois îlots identiques de 4 étages, chacun formant un centre accessible par les passages laissés entre chaque édifice.

### Présentation de l'outil

Nous avons dû ici (pour des contraintes de temps et de moyens logistiques insuffisants) changer le cadre et la forme de présentation de l'outil et donc revenir à un format plus "traditionnel" avec une introduction sous la forme d'un cours devant étudiants. Ces derniers ont ensuite, sur leurs propres machines, pu s'approprier et utiliser *EsquisSons* dans le cadre de l'atelier et des temps dédiés à l'élaboration de leurs propositions.

Face à ce retour au format « initial » qui avait conduit à un échec lors de la première phase de terrain, nous proposons ici de se saisir de cette difficulté, et de l'utiliser comme un prétexte pour simplifier et alléger l'approche d'initiation. Cela nous permet par ailleurs de tester les améliorations (techniques et didactiques) apportées à l'outil en observant si les problèmes d'installation, de fonctionnement ou de compréhension sont toujours présents dans le contexte d'un utilisateur plus autonome.

## 6.5.2 Productions et résultats<sup>24</sup>

Cet enseignement optionnel a abouti à l'esquisse de six projets de dispositifs de façade tous réalisés avec d'*EsquisSons*

### Catégorie 1 : Protéger et Projeter

On regroupe dans cette catégorie les propositions qui ont cherché à "polariser" des ambiances sonores à travers leurs dispositifs de façade. Ainsi certains dispositifs permettraient de se protéger et d'autres de se projeter dans l'environnement sonore alentour. Ce que l'on remarque, c'est que pour les deux projets qui correspondent à cette catégorie, le choix a été de travailler sur deux façades différentes pour proposer, sur chacune, une de ces expériences : on se projette vers un environnement et on se protège d'un autre.

---

#### « Creuser et s'étendre »

(Salomé Bergsma, Margaux Regalia, Laura Tinas)

*Ce travail propose de modifier les façades d'un immeuble installé sur les grands boulevards à Grenoble en créant des loggias face à la rue et des balcons/terrasses côté cour ce qui a pour effet de renforcer la dualité des orientations mais aussi de protéger les dispositifs extérieurs qui se trouvent en confrontation directe avec les sons provenant des grands boulevards. Les aménagements de façade -que ce soit côté rue ou côté cour- sont également dessinés de manière progressive selon la hauteur de l'habitat pour s'adapter à la proximité avec la rue.*

Le traitement des deux faces permet aux étudiants d'explorer deux ambiances : côté cour, plus calme ; et côté rue, plus riche et mouvementé. L'outil leur a ensuite laissé la possibilité d'explorer et surtout d'entendre les différentes configurations de garde-corps et de filtres côté cour qu'ils ont pensés pour s'adapter aux variations de perceptions qui s'opèrent avec la prise de hauteur. En effet, un travail progressif a été réalisé sur les deux façades. Les étudiants ont proposé un "dégradé" de profondeur allant de la loggia jusqu'au balcon côté rue pour se protéger des sons du boulevard puis progressivement se projeter en montant dans les étages nécessitant moins de protection.

---

24. Toutes les esquisses sonores sont disponibles en quatrième annexe, A.4.10, page 296,

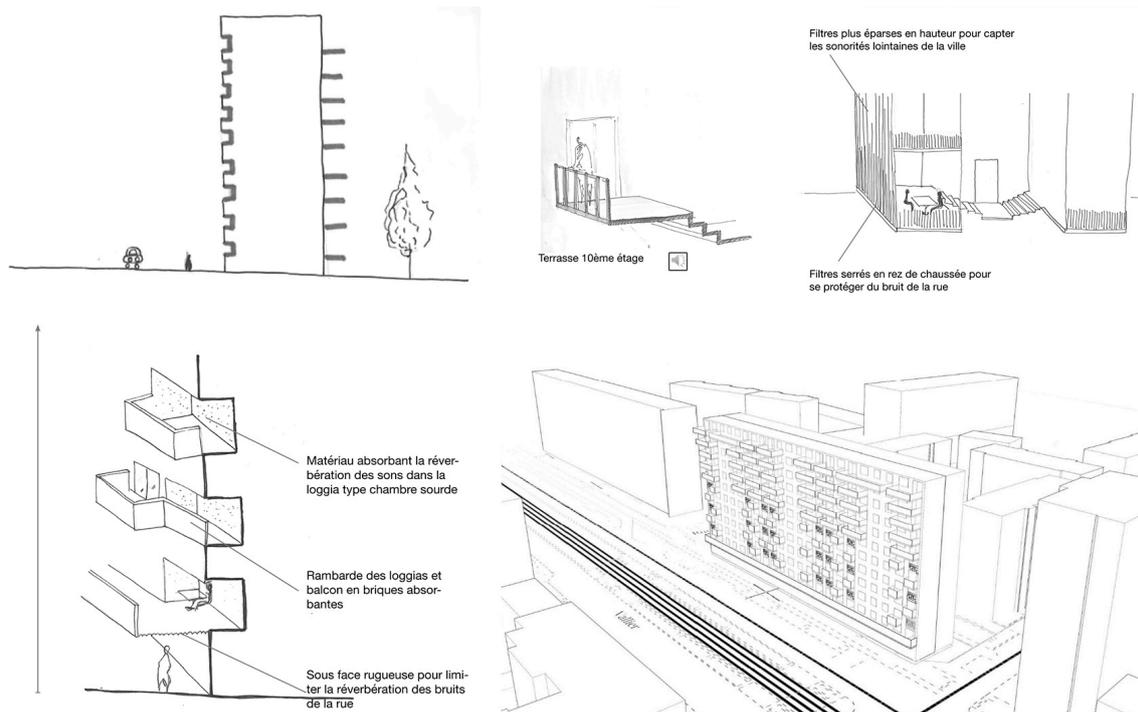


FIGURE 6.13 – "Creuser et s'étendre" / Croquis d'intentions et modélisation des loggias et terrasses

### « Se rassembler et s'isoler »

(Tiphany Le borgne, Océane Obringer)

*Les étudiants ont travaillé sur des extensions de façade sous la forme de balcon en interrogeant le lien entre la position des corps, la taille des garde-corps et la taille des balcons afin de proposer un double traitement des façades. L'un d'eux propose des configurations de balcons étendus et ouvert incitant à créer des situations "conviviales" dans les usages. L'autre propose des configurations protégées et à l'échelle individuelle qui conviennent pour s'isoler de l'environnement alentours et pour s'extraire de l'espace intérieur*

Cette proposition de traitement différencié sur chaque façade sert aussi de prétexte pour tester et comparer des dispositifs par l'écoute. En effet, on peut écouter les deux configurations et les comparer, mais aussi comparer dans la même configuration les variations de morphologie et/ou de positionnement du corps dans l'espace. On retrouve dans cette proposition un rapport au corps percevant qui, en se déplaçant d'un dispositif à l'autre ou au sein du même dispositif, permet de moduler les sons entendus et donc les rapports d'écoute (intérieur/extérieur, proche/lointain, Intime/convivial).

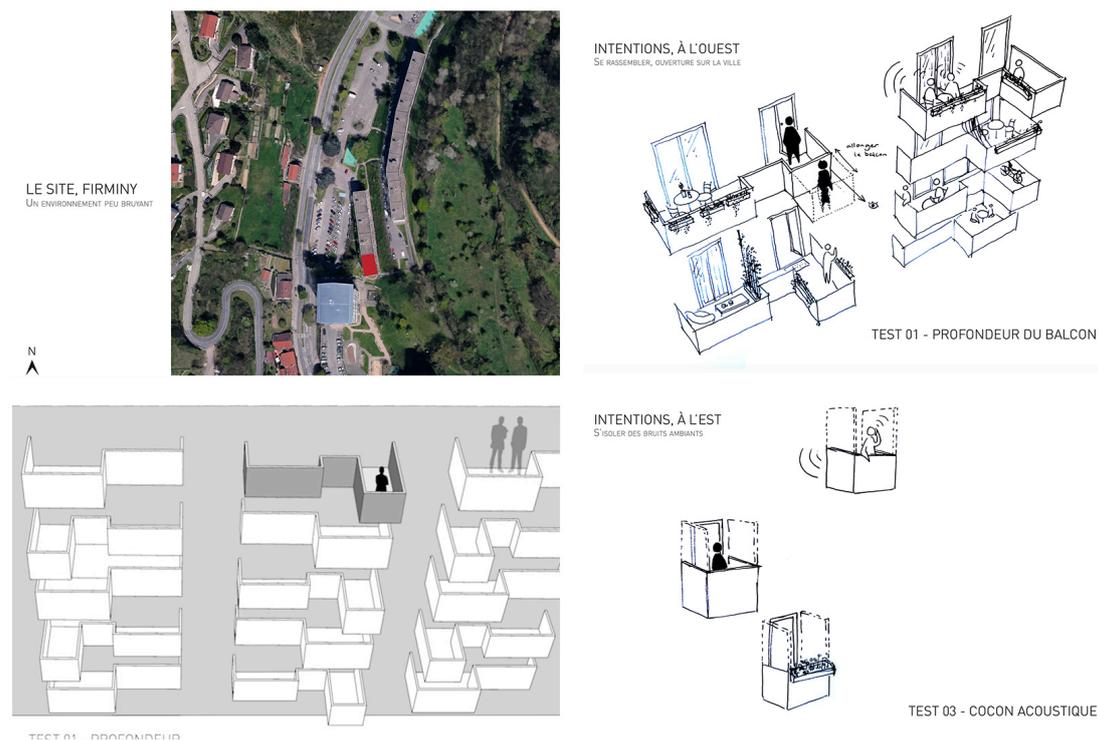


FIGURE 6.14 – "Se rassembler et s'isoler" / Croquis d'intentions et modélisation des balcons pour l'esquisse sonore

## Catégorie 2 : moduler l'ambiance

La deuxième catégorie que nous avons nommée "moduler l'ambiance" se caractérise par des propositions qui tentent d'offrir un choix à l'habitant et donc une « possibilité de maîtriser et de régler [le] niveau de confort à sa guise » (Amphoux, 1990) - par l'espace choisi ou par sa position sur son balcon. Cette faculté de nuance des dispositifs proposés offre ainsi de nouvelles opportunités pour gérer l'environnement sonore et participe d'une certaine manière d'habiter : chacun peut alors, avec la même configuration initiale "fabriquer" selon la temporalité, l'humeur et l'environnement, un agencement qui lui est propre.

### « Variation de Garde-corps »

(Audrey Arnoud, Cedric Daniel)

*Le travail de façade propose ici un dessin de garde-corps variables sur la façade qui - selon la hauteur du balcon - proposent une protection acoustique face au boulevard en contre-bas. De plus la superposition des balcons fabrique pour chacun d'entre eux une configuration loggia qui permet de se protéger un peu plus de l'extérieur (que ce soit sur le plan sonore ou climatique)*

Ici, *Esquissons* a permis de tester l'impact du recouvrement entre les balcons. Le résultat permet d'entendre une différence entre ces deux traitements grâce à un dessin en quinconce qui avait pour objectif de générer deux ambiances différentes sur un même balcon. Une partie est directement recouverte par le dispositif du dessus ; l'autre est ouverte sur deux niveaux. Grâce à l'esquisse sonore, les étudiants ont pu entendre une plus grande focalisation des sons domestiques qui viennent du balcon dans la partie couverte alors que la partie ouverte fait entendre une écoute plus "franche" de l'environnement sonore extérieur tout en rendant les conversations plus difficiles. De là même façon, un travail sur l'inclinaison des garde-corps fait l'hypothèse d'une meilleure protection des balcons face aux sons de la rue. Dans les faits on entend toujours une très grande différence entre les étages hauts et les étages bas avec une forte présence des sons proches dans ces derniers. La modularité entre couverture et ouverture apporte toutefois de réelles possibilités dans l'usage en permettant à l'utilisateur de doser son degré d'intimité sonore et d'ouverture sur la rue ce qui renforce l'hypothèse formulée par les étudiants.

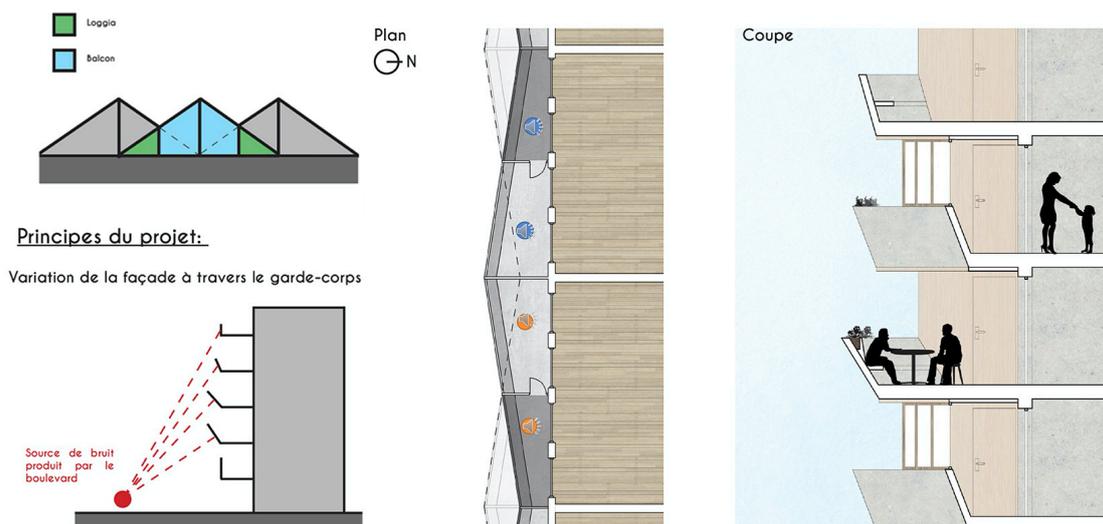


FIGURE 6.15 – "Variation de Garde-corps" / Intentions de projet et représentation des points d'écoute réalisés avec EsquisSons

### « Espaces tampons »

(Louise Mary, Raphaëlle Ruiz)

*Le groupe a travaillé sur un espace en façade venant se "découpler" pour offrir une pluralité d'ambiances : du séjour à la terrasse en passant par la loggia. La terrasse et la loggia sont ainsi disposées côte à côte et modulées par une "façade vitrée mobile" qui permet de se protéger de la rue ou bien d'en profiter.*

À l'écoute, on peut comparer deux esquisses réalisées au 10<sup>ème</sup> étage ainsi que deux esquisses au 5<sup>ème</sup> étage, pour chaque étage elles correspondent à un écoutant depuis une loggia ou depuis une terrasse. Pour les étages élevés, on constate un effet de filtrage de la loggia sur les sons extérieurs et une légère réverbération supplémentaire qui s'entend particulièrement sur les émergences de type klaxon. La terrasse est très exposée aux sons du boulevard et on note un vrai effet de la loggia comme "protection" pour les étages bas. On note ici aussi un intérêt à offrir plusieurs possibilités d'usage et d'ambiance à l'habitant. Le fait de travailler sur l'angle spécifique du sonore a permis au groupe d'interroger le rapport à la rue et donc de proposer diverses situations pour un même logement.

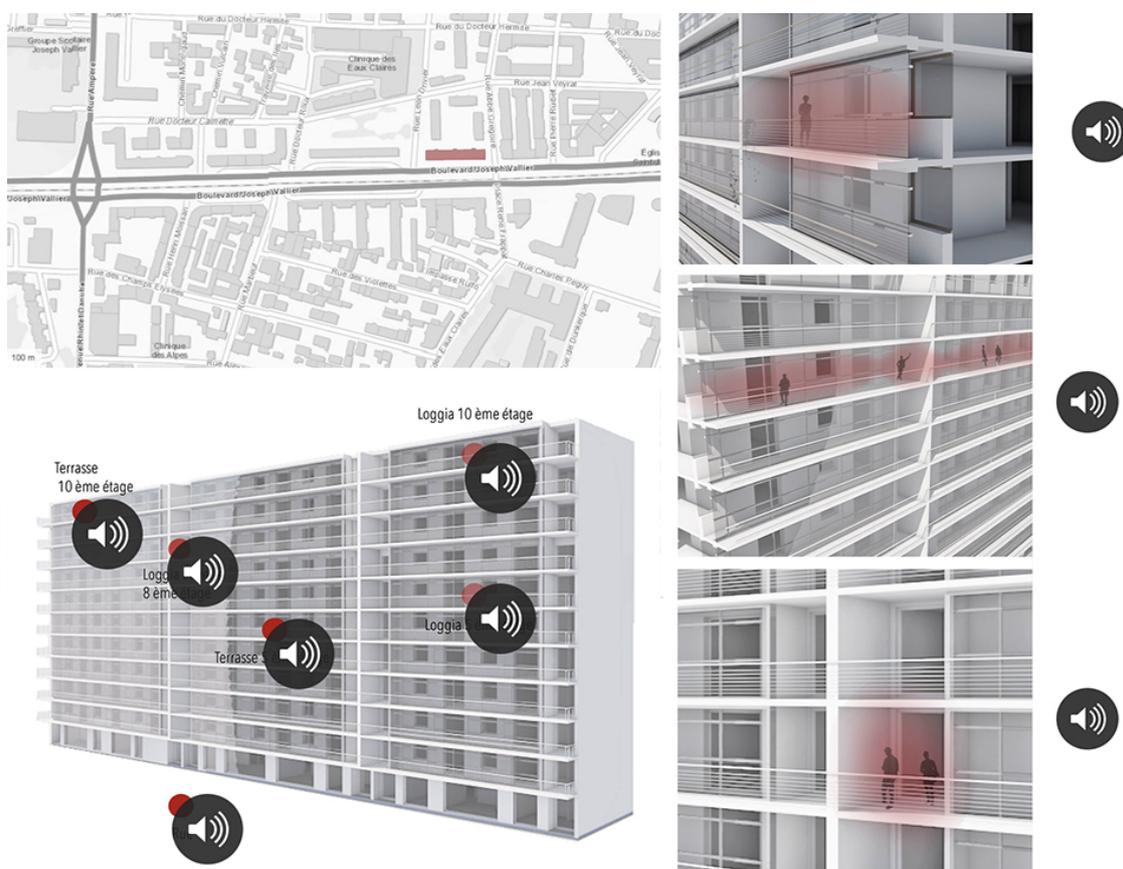


FIGURE 6.16 – "Espaces tampons" / Plan de situation de l'édifice ; Captures d'écran des différents points d'écoute réalisés avec EsquisSons

### « Balcons modulés »

(William Haudin, Lucas Munoz)

*Le groupe d'étudiants propose une série de tests sur la façade côté rue d'un immeuble de logement à Firminy. L'objectif est*

*de comparer l'impact des garde-corps sur la perception sonore depuis le balcon en faisant varier le rapport hauteur profondeur de ces derniers. Ici aussi le travail abouti notamment sur une variation des dispositifs selon leur hauteur et donc selon leur distance aux émergences sonores de la rue.*

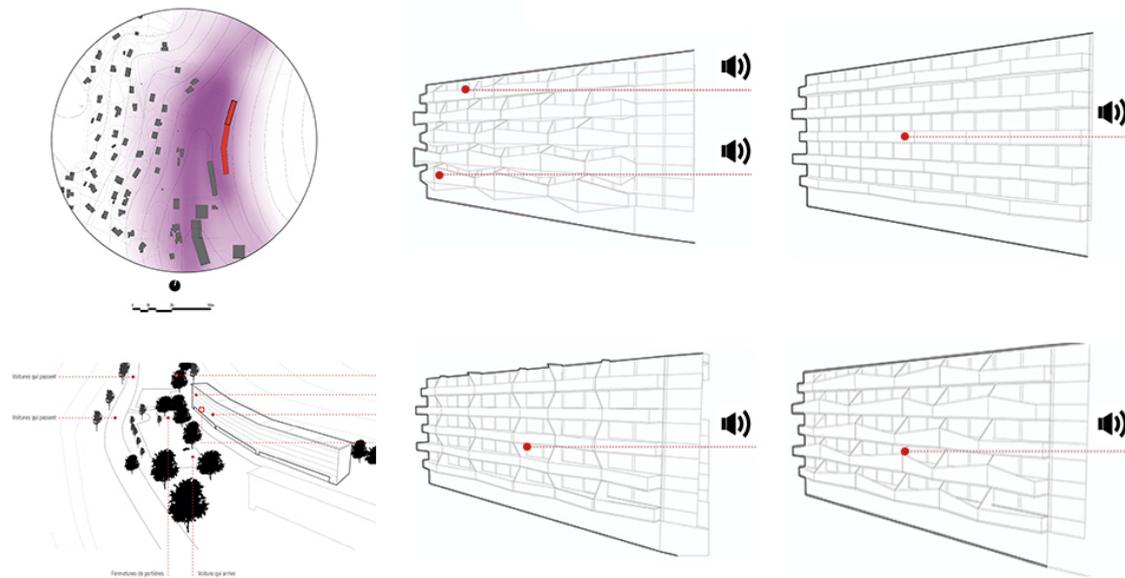


FIGURE 6.17 – "Balcons modulés" / Plan de situation; Axonomie des sources existantes; Tests des dispositifs D,A,B et C (de gauche à droite puis de haut en bas) réalisés avec EsquisSons

Les étudiants ont choisi de tester une déformation en profondeur et en hauteur des balcons et de leurs garde-corps puis d'écouter le résultat afin de produire une nouvelle proposition. Le site de projet est un endroit relativement calme ce qui laisse beaucoup de place aux sons très proches et notamment à la proximité entre les balcons. Dans la première situation (A), les inflexions ont lieu uniquement dans la profondeur du balcon qui forme en plan une ligne brisée. On entend distinctement l'environnement proche, mais aussi les sons provenant de la rue et de la ville plus lointaine. Dans la deuxième situation (B), afin de réduire la porosité acoustique entre les balcons, une séparation a été rajoutée en conservant l'inflexion en plan. Ce deuxième test fait entendre une plus forte présence du son de la rue et au contraire, un effacement des sons proches provenant des autres balcons.

Pour se protéger un peu plus de la rue, les étudiants ont choisi de travailler dans la troisième situation (C) sur la hauteur des garde-corps. Le balcon formant une pointe en plan a été plus protecteur dans les esquisses sonores, ainsi les étudiants ont fait le choix de tester une hauteur plus importante lorsque la profondeur des balcons

et faible afin de retrouver une certaine intimité dans ces espaces. Enfin, la dernière situation (D) pousse au maximum la "protection" en inversant la hauteur des garde-corps, mais en ajoutant des "casquettes" au-dessus des parties basses. Cette dernière proposition a pour effet d'atténuer considérablement les sons à distance (à la fois d'en bas, mais aussi plus lointains) et de renforcer l'intimité sur les balcons.

La possibilité de faire des tests, et de réinformer les morphologies à chaque itération a permis aux étudiants d'explorer des extrêmes, mais aussi de comprendre tout en testant l'impact des espaces sur les ambiances sonores. Néanmoins, nous remarquons que l'angle du sonore n'a ici pas permis d'ouvrir la réflexion à d'autres phénomènes sensibles avec notamment un enjeu de lumière naturelle qui se retrouve très mal maîtrisé.

### Catégorie 3 : Espaces de transition

Cette dernière catégorie regroupe deux propositions qui se sont orientées vers une double fonction du dispositif de façade, à la fois extension de l'habitat, mais aussi "interface" d'articulation entre l'extérieur et l'intérieur de l'îlot pour dans un cas les "augmenter" et dans l'autre les requalifier. Là encore, l'angle choisi du sonore ouvre à d'autres opportunités pour interroger et transformer l'espace en décadant les enjeux et en offrant une perspective plus axée sur les questions d'usage et de perceptions. Ainsi les étudiants font le choix de dispositifs qui transforment à la fois les qualités sonores de l'habitat et de l'espace public. Cela interroge un rapport aux distances et au corps dans l'espace, mais aussi aux affordances qui vont générer des lieux de séjour et de passage et donc des sources sonores spécifiques.

---

#### « Des balcons traversants »

(Samy Attari, Hugo Larroche, Lauris Nomine)

*La proposition consiste ici à ouvrir davantage les îlots sur l'extérieur en transformant les circulations verticales déjà présentes en espaces ouverts traversants. Le projet cherche également à ouvrir les habitations sur l'extérieur en ajoutant des coursives distributives sur toutes les façades donnant sur la rue.*

L'hypothèse qui a été faite par les étudiants était d'ouvrir les cœurs d'îlot sur leurs extérieurs mais aussi de renforcer la projection des habitats sur le quartier grâce aux coursives. le résultat de l'esquisse laisse entendre une très forte porosité à l'intérieur de l'îlot qui se trouve accentuée par sa propre réverbération. On entend ainsi beaucoup plus les sons venant de la rue et en comparaison avec la situation initiale, la "micro-ambiance" sonore protégée et plutôt calme se retrouve effacée. On a du mal à différencier l'intérieur et l'extérieur de l'îlot. Sur les coursives on est également plongé dans le son de la ville avec une forte présence des sons provenant des circulations verticales. l'esquisse ici révèle un problème de nuance dans les choix et donne

à entendre une situation lissée voir cacophonique du fait d'îlots très réverbérants et très/trop poreux à l'environnement extérieur. On note que l'effet recherché de créer des espaces de transitions n'est pas obtenu et si l'on considère cela comme une première étape de projet, on peut envisager un dessin plus juste dans le dimensionnement et le positionnement des circulations et des dispositifs de façade pour qualifier un peu mieux les espaces sur le plan sonore.



FIGURE 6.18 – "Des balcons traversants" (à gauche) et "Articulations de balcons" (à droite) / Vues en axonométrie et en plan des transformations et de la position des sources

#### « Articulations de balcons »

(Andrea Giraud, Anne Louise Raharijaona)

*Le groupe a travaillé sur les pignons des édifices afin d'ajouter des espaces extérieurs aux habitats sans altérer les ouvertures et les expositions sonores et lumineuses actuelles. Ces dispositifs de pignons ont également comme objectif de filtrer d'avantage les sons qui entrent dans l'îlot afin de renforcer une sensation de protection déjà présente au centre mais plus difficile à percevoir lorsque l'on s'approche des accès.*

Suite à une exploration et des prises de son sur le site, les étudiants ont constaté un effet très marquant des édifices sur l'ambiance au cœur de l'îlot avec une focalisation sur les sons proches et une forte diminution des émergences de la rue et de la ville.

Néanmoins cette qualité n'a pas pu être retrouvée dans les passages qui ont tendance à exacerber -par leur matérialité et leurs morphologies- la présence des sons de la rue et de la place adjacentes. L'hypothèse a été de travailler sur des dispositifs de façade qui fassent seuil sans transformer les qualités existantes des ouvertures sur les façades intérieures et extérieures. À l'écoute de l'esquisse, on perçoit en effet un impact du dispositif sur ces passages qui deviennent beaucoup plus "mats" et qui filtrent les sons de la rue. Ils deviennent également des espaces habités et donc "générateurs" de sons très proches ce qui transforme la balance proche/lointain et fabrique un effet de masque avec les sons proches des balcons. Cette proposition fabrique ainsi un dispositif de limite entre l'intérieur et l'extérieur de l'îlot via deux effets élémentaires : l'effet de filtrage et l'effet de masque.

### 6.5.3 Questionnaire

Là aussi, nous avons proposé un questionnaire aux étudiants afin de récolter leurs appréciations et leurs impressions sur l'enseignement et l'outil.

Si, comme pour les précédents ateliers nous regardons la répartition des "intérêts" pour l'outil (sur la base de questions qui sont toujours des questions ouvertes mais que nous combinons ensuite pour classer les réponses dans des catégories de répondants<sup>25</sup>), on retrouve à peu de choses près les mêmes résultats que pour l'atelier précédent. On constate qu'au-delà des problèmes techniques, on observe des critiques claires sur l' "intuitivité" d'*EsquisSons* que l'on n'avait encore pas vues jusqu'ici et notamment sur l'articulation entre les deux logiciels MaxMSP et Rhinoceros.

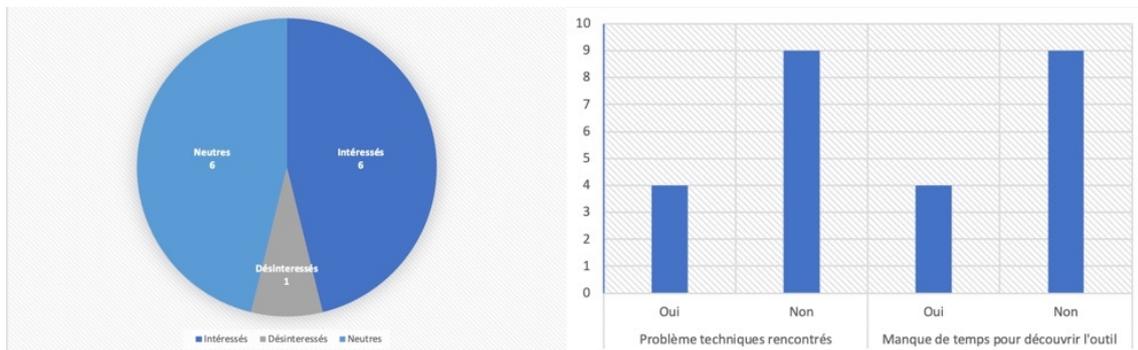


FIGURE 6.19 – Appréciations globales des participants sur l'outil ; Soucis techniques rencontrés et manque de temps ressenti. (données extraites des questionnaires réalisés à l'issue de l'atelier de master (2018))

Nous avons également ajouté une question afin d'identifier, indépendamment de l'utilisation d'*EsquisSons*, l'intérêt potentiel des étudiants à appréhender le projet

25. Voir les tableaux de réponses et les interprétations dans la première annexe A.1, page 244,

architectural par le son après cette semaine de travail. Les réponses sont intéressantes, car une grande majorité, trouve le son "peu utilisable en contexte réel". Néanmoins, si l'on cherche à faire le lien entre cette réponse et les envies d'utiliser *EsquisSons* par la suite, on constate une corrélation entre la volonté d'utilisation et l'intérêt pour le son dans le projet, mais aussi entre ceux qui ne souhaitent pas l'utiliser et qui ne sont pas intéressés par l'utilisation du son pour appréhender le projet d'architecture (voir figure 6.20, page 187, ). Ce lien, même s'il paraît évident, permet de valider une certaine cohérence entre l'utilisation de l'outil et son potentiel à inciter la prise en compte du son, voire comme proposé ici à "appréhender le projet architectural par le son".



FIGURE 6.20 – Graphique des réponses croisées entre à la question «Comment jugez vous la possibilité d'appréhender le projet architectural par le son?» et l'intérêt potentiel pour utiliser *EsquisSons* dans le futur (données extraites des questionnaires réalisés à l'issue de l'atelier de master (2018))

Nous pouvons également remarquer une bonne proportion des réponses qui évoquent un changement dans les manières de faire ou de réfléchir au projet d'architecture lorsqu'ils utilisent l'outil (7 répondants sur 13). Certaines réponses expriment clairement "une nouvelle approche du projet architectural" ou encore un "nouveau regard sur la question de l'acoustique" ce qui confirme une tendance déjà observée dans les précédents ateliers du potentiel de l'outil à ouvrir, par l'écoute de nouvelles questions. Comme on l'énonçait dans nos hypothèses, cela confirme une forme de "décadrage" pour le regard (et l'oreille) du concepteur. Certains évoquent également des enjeux allant au-delà de la question sonore avec par exemple la possibilité de

"dessiner autrement" ou de "réfléchir au confort des usagers".

Enfin, deux répondants ont évoqué une limite de l'outil du fait de la complexité à esquisser, représenter et entendre des différences subtiles qui peuvent à la fois ne pas être restituées par l'outil "*trop sommaire pour avoir un réel intérêt*" ou encore être "*biaisé[e]* par ce que l'on a envie d'entendre". Ce point est à compléter par de multiples exemples et tentatives non fructueuses d'esquisser des différences subtiles d'espaces ou de postures que l'outil ne parvient pas à faire entendre. Cela est principalement lié (comme le souligne très bien un des participants) à la "simplicité" de l'outil qui ne permet pas de rentrer dans une granularité suffisante de caractéristiques et de calculs et donc, ne permet pas de rendre compte de certaines finesses de l'acoustique architecturale. C'est une limite de l'outil dont nous avons conscience et que l'on peut encore améliorer, néanmoins cette simplicité est également le résultat de choix que nous avons faits pour conserver une simplicité et surtout une utilisation possible très tôt dans le processus de projet. Pour améliorer ce point critique de la "précision", on pourrait par exemple envisager de nouveaux composants "facultatifs" permettant de prendre en compte plus de paramètres de la scène spatio-sonore ce qui permettrait de mener des calculs plus précis sans pour autant "encombrer" l'état actuel de l'outil.

## Observations

Le temps limité avec l'outil lors de ces ateliers n'a pas permis à tous les étudiants de fonctionner par itérations. On observe alors pour certains des intentions et des hypothèses esquissées et mises en son avec *EsquisSons* sans que celles-ci puissent être reformulées. Pour autant, on constate que le travail d'esquisse sonore et les fonctionnalités proposées par l'outil leur ont permis d'interroger un certain nombre d'éléments qu'ils n'ont pas pour habitude de questionner.

— Prendre en compte la hauteur

Un de ces paramètres qui revient particulièrement et que l'on ne voit que très rarement dans les productions architecturales - d'étudiants ou de professionnels - c'est la prise en compte de la hauteur dans les dispositifs de façade. C'est particulièrement le cas ici pour les projets dont le contexte proche est identifié comme une gêne sonore potentielle.

— Questionner les automatismes

Un autre élément que l'on peut observer dans un grand nombre de propositions c'est la remise en question de la hauteur des garde-corps et de la profondeur des BLTC qui permettent de moduler l'exposition aux sons plus ou moins proches et à "requalibrer" la balance proche lointain lors de l'utilisation du dispositif : Les sons proches sont atténués pour les espaces bas alors que les espaces hauts sont au contraire moins protégés ; on retrouve ainsi une balance proche/lointain plus homogène entre les espaces en hauteur -naturellement moins plongés dans les sons proches - et les espaces bas à l'origine plus exposés.

— Penser la modularité et la variabilité des espaces

Penser le son a orienté une grande partie des groupes vers des propositions "multi-ambiances" : on retrouve notamment cette stratégie sur les grands boulevards où les édifices sont frontalement exposés à la gêne sonore et où l'enjeu de la protection est très fort. Néanmoins, on remarque que les stratégies ne vont jamais vers la fermeture complète des espaces extérieurs. Au contraire, l'esquisse et l'écoute ont pu rendre compte de certaines qualités ou spécificités de l'environnement que les étudiants ont jugées intéressantes à conserver en laissant la possibilité à l'utilisateur de les moduler (par son placement dans la profondeur ou dans la longueur du dispositif, mais aussi pour certains par le choix de la façade ou du dispositif).

— Utiliser des sons captés *in situ*

Nous remarquons enfin que dans cet atelier la quasi-totalité des sons utilisés pour les esquisses provient de captations réalisées par les étudiants et directement sur le site du projet (quand cela était possible -proximité géographique) ou dans des environnements aux caractéristiques proches. Cela est particulièrement intéressant puisque ces enregistrements nécessitent une attention particulière au site -par l'écoute, mais aussi par les autres modalités sensibles- au même titre qu'un relevé photographique avec le visuel qui requiert du temps et une attention spécifique aux caractéristiques du site. On peut extraire, en parallèle de l'utilisation du son comme matériau de projet, une manière implicite qu'a l'outil de provoquer l'exploration et l'écoute *in situ* par la "récolte" ou la prise de son qui servira ensuite dans l'esquisse. Ainsi, un outil spécifiquement orienté vers une écoute « prospective » permet également à sa manière l'écoute d' "observation" en amont du projet.



# Chapitre 7

## Troisième corpus : Les expériences impliquées

Cette troisième division des corpus présentera ce que nous avons appelé les expériences impliquées. Il s'agit d'une sélection des expériences et méthodologies alternatives que nous avons mises en œuvre durant notre travail et qui, malgré la non-prolongation de celles-ci, permettent de présenter les différents essais que nous avons pu mener. Ces observations et/ou expérimentations sont aussi le moyen de tester certaines questions qui ont pu se poser durant le processus de recherche et d'ouvrir d'autres perspectives à l'utilisation de l'outil.

### 7.1 L'entretien Instrumenté

Cette section présente la première tentative d'interrogation des usages que nous avons voulu mettre en place en parallèle des ateliers. L'objet de cette phase exploratoire était de réaliser des entretiens avec différents acteurs de la conception spatiale (professionnels et étudiants) en les faisant manipuler l'outil. Ces entretiens instrumentés devaient notamment présenter les manières de prendre en compte le sonore dans la conception, les intérêts potentiels pour de nouveaux modes de prise en compte, la prise en main de l'outil et les potentielles manières de l'utiliser, les interactions possibles avec les modes de travail de chacun (difficultés, leviers) et enfin les fonctionnalités manquantes ou pas suffisamment abouties. Malheureusement, ces entretiens se sont révélés difficiles à mener au début de notre travail par manque de "matière" à présenter et surtout avec les difficultés de manipulation d'un outil en développement. En parallèle, les quelques entretiens que nous avons pu mener se sont avérés très peu productifs compte tenu des objets et des questions que nous posions. En plus d'un faible intérêt pour le sonore, ces temps passés avec certains concepteurs plus sensibles que d'autre aux enjeux du sonore nous ont tous amenés vers un consensus sur le manque de temps et de moyen pour introduire un tel ou-

til dans les processus et méthodes actuelles de conception. Nous avons ainsi décidé de reporter ces entretiens le temps de développer plus précisément l'outil pour finalement ne pas trouver le temps de la réactualiser. Il nous semblerait néanmoins intéressant de refaire ce travail aujourd'hui pour, sur la base d'un outil plus stable et plus facilement utilisable, reposer les questions que nous avons présentées ici.

## 7.2 Analyse de l'existant, pistes et comparaisons

L'outil a également pu être "testé" par une comparaison avec des captations sur le terrain. Ce test est l'un des premiers tests de "réalisme" que nous avons pu réaliser avec l'outil et il a ensuite été complété, à la fois à travers tout le processus de construction et de validation que nous avons mis en œuvre lors des ateliers, mais aussi pendant l'expérience de balade sonore où nous avons pu tester le réalisme de certaines scènes sonores produites<sup>1</sup>.

En tant qu'esquisse, l'outil "échappe" à la question de la fidélité du modèle et de la "réalité" métrologique. Pour autant, la cohérence des résultats sonores doit être validée par l'écoute et par le "réalisme" des productions sonores ainsi générées. En ce sens, nous invitons le lecteur à consulter une des premières vidéos "*Esquis'Sons! entre in situ et croquis*" dans laquelle nous reproduisons avec *EsquisSons* une configuration urbaine que nous avons enregistrée à Stockholm<sup>2</sup>

La vidéo montre la construction de la scène en reprenant les gabarits des bâtiments existants, les environnements sonores cardinaux, les activités et les sources dans l'îlot. Pour finir, on écoute la comparaison entre le son enregistré *in situ* et le son de l'esquisse. Les deux fragments ne sont évidemment pas identiques, mais ils sont très similaires dans ce qu'ils proposent à l'écoute : la composition sonore de la scène, le fond, les événements, et l'ambiance générale du site. L'outil d'esquisse sonore se situe donc à l'interface entre une simulation rigoureuse qui cherche à reproduire des phénomènes physiques et l'outil de décadrage qui permet l'expérience de l'environnement sonore projeté en faisant entendre ses contours, son fond et ses émergences dans des conditions comparables à la situation réelle. En cela, on rejoint l'objectif mentionné au début de ce travail de proposer un moyen de concevoir les espaces par l'écoute, et avec un degré de précision suffisant pour "entendre ce que l'on dessine" et ainsi utiliser le son comme matériau de projet.

---

1. Voir section 7.3, page 193,

2. Esquisse sonore à retrouver dans les annexes multimédia ou en ligne : <https://vimeo.com/146216227>

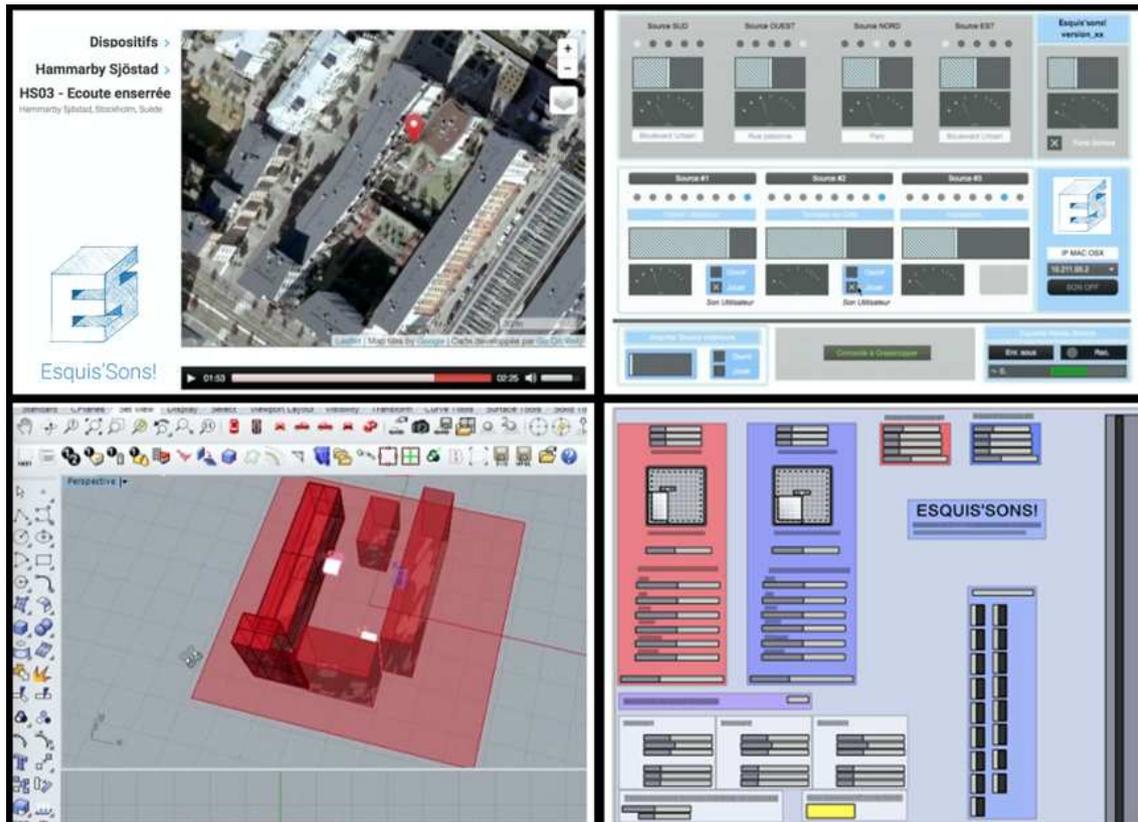


FIGURE 7.1 – Écran partagé d'une étape de validation : son in situ (en haut à gauche) , son de croquis dans EsquisSons (en haut à droite), Définition du modèle dans le module Grasshopper (en bas à droite), Visualisation du modèle dans Rhinocéros 3D (en bas à gauche)

### 7.3 La balade sonore revisitée

Il s'agit ici d'une expérience unique que nous avons menée dans le cadre d'un séminaire scientifique à Grenoble. Notre balade sonore instrumentée proposait aux participants de parcourir le centre urbain en faisant une écoute d'esquisses sonores "*in situ*". Nous avons en amont préparé trois situations de transformations architecturales et urbaines radicales puis nous les avons proposées à l'écoute sur le lieu de l'esquisse.

Cette expérience avait pour objectif de tester l'effet et la capacité de l'outil à convoquer les imaginaires spatiaux et ambiants à partir du son sans passer par la phase de manipulation. À la manière d'un rendu visuel, on propose ici une écoute des espaces avant et après transformation pour récolter les impressions et comprendre non seulement le niveau de "réalisme" de l'outil (« *Est ce qu'il "marche in situ" ?* »), mais aussi qu'est ce qu'il convoque comme piste de perception ou de représentation

chez les participants.

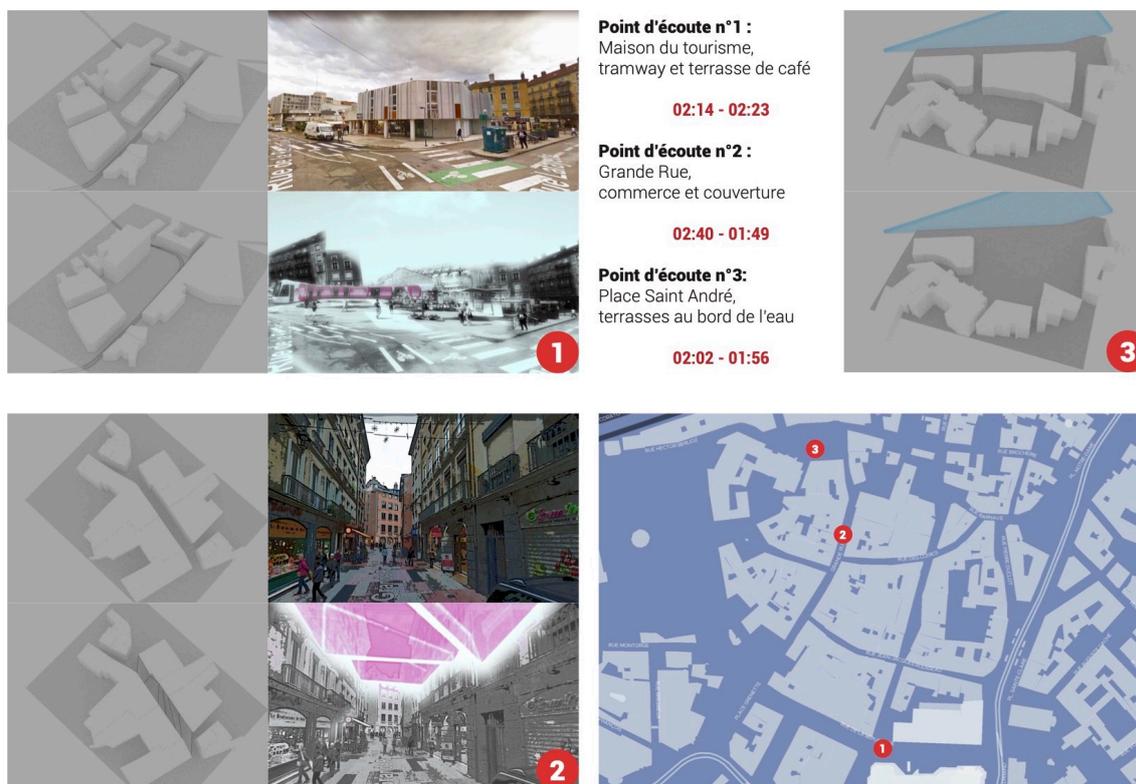


FIGURE 7.2 – Présentation des trois points d'écoute réalisés pour la balade d'esquisse sonore - Grenoble - Janvier 2018

Pour cette expérience, nous avons choisi trois lieux dans le centre-ville de Grenoble et proposé aux participants (*6 personnes*) d'écouter d'abord la situation existante pendant environ deux minutes, puis d'écouter le même espace transformé et esquissé sous une forme sonore avec *EsquisSons*<sup>3</sup>. La première situation<sup>4</sup> se trouve à l'une des entrées du centre-ville piéton, au croisement entre un arrêt de tramway, la maison du tourisme, un parking, des cafés et un supermarché. La transformation urbaine se résume à la suppression de la maison du tourisme pour fabriquer une place urbaine. Il en résulte notamment un mélange sonore beaucoup plus fort des deux environnements (tramway, véhicules thermiques et piétons/cafés). La deuxième situation<sup>5</sup> se trouve au cœur des rues piétonnes, dans la 'grande rue' qui regroupe la majorité des activités commerciales. La proposition de transformation est une grande verrière qui s'étend au-dessus de la rue et renferme ainsi les différents sons des activités dans un espace plus petit. La configuration (très étroite et minérale) de la rue dans son état existant confère déjà une caractéristique très réverbérante à

3. Les trois esquisses sonores "avant/après" sont à retrouver en quatrième annexe

4. Identifiée par le "1" sur le plan et sur les images : Figure 7.2, page 194,

5. identifiée par le "2" sur le plan et sur les images : Figure 7.2, page 194,

l'espace. La transformation proposée vient ainsi la renforcer, mais surtout changer sa nature qui laisse percevoir un glissement vers les ambiances sonores des centres commerciaux fermés, et moins celles des rues piétonnes. Enfin, le troisième point<sup>6</sup> se trouve sur une place, piétonne et très minérale, qui accueille différents cafés. La place 'Saint-André' est séparée des quais de l'Isère et d'une route par le palais du parlement du Dauphiné. Dans cette configuration urbaine, nous avons fait le choix de retirer cet édifice afin d'agrandir la place et de l'ouvrir sur le contexte environnant proche (les quais), mais aussi lointain (la colline de la bastille). Il en résulte une scène sonore confuse et envahie par les sons provenant de l'axe routier. La place entièrement minérale fait office dans cette configuration d'amplificateur aux sources provenant de la route. Pour autant, il est très difficile de percevoir les sons plus lointains masqués par l'axe de circulation très proche.

Il est important de préciser que pour chaque point d'écoute nous avons réalisé deux esquisses, une de l'existant et une autre de la situation transformée. Nous avons ainsi souhaité faire entendre une esquisse sonore y compris pour l'écoute de la configuration réelle afin d'évaluer le réalisme de cette dernière en cachant cette information aux participants et en observant leurs réactions. Chaque esquisse a été réalisée à partir du modèle 3D de chaque situation et le positionnement des sources réelles - captées *in situ*. On obtient ainsi l'esquisse de la situation réelle, puis en modifiant les morphologies et le contexte architectural, *EsquisSons* laisse entendre la situation transformée. Nous avons également souhaité ne pas montrer aux participants les esquisses visuelles qui illustrent les transformations avant l'écoute. Cela permettait non seulement de ne pas influencer l'écoute, mais également de discuter des transformations ressenties en ne parlant dans un premier temps que de l'environnement sonore écouté dans les casques<sup>7</sup>.

### 7.3.1 Expérience et retours

L'expérience impliquée d'une balade sonore "revisitée" avec *EsquisSons* nous a permis de valider un certain nombre de points sur l'outil, mais aussi d'ouvrir certaines questions. Pour simplifier l'expérience et rendre plus facile la tâche d'observation, nous avons souhaité ici ne proposer que des transformations de morphologies (urbaines et architecturales). Il n'a ainsi pas été question de transformer les usages ou de les déplacer (nous verrons ensuite que nous avons pu réaliser, dans un autre contexte, une expérience inverse). Il était également important de proposer des transformations volontairement radicales et "audacieuses" de manière à favoriser des réactions. En effet, l'expérience étant réalisée en l'absence d'une manipulation de l'outil et d'un choix de l'utilisateur, l'objet n'était pas d'évaluer la pertinence de ces choix, mais plutôt de les prendre comme prétexte pour discuter des résultats avec les participants à la balade.

---

6. identifiée par le "3" sur le plan et sur les images : Figure 7.2, page 194,

7. Dispositif d'écoute en simultané à l'aide d'une « pieuvre » audio pour diviser le signal

### Situations initiales - écoute "à l'aveugle"

En ce qui concerne les premières esquisses (situations réelles), aucune remarque n'a été faite à l'écoute de la maison du tourisme (1) et de la place Saint-André (3) ; un participant a émis des doutes sur la réponse fréquentielle de certaines sources dans la rue commerçante (2). Ces retours sur les écoutes d'esquisses "à l'aveugle" nous indiquent plutôt un bon réalisme de l'outil dans sa capacité à construire une scène sonore cohérente puisqu'un seul participant sur une seule des esquisses a interrogé la façon dont était faite la scène.

### Situations transformées

À l'écoute de l'esquisse de la maison du tourisme (1), les participants ont pu émettre quelques bonnes pistes des transformations qu'ils avaient l'impression d'entendre, mais aucune réponse exacte. Les réponses étaient principalement tournées autour de l'idée d'un déplacement de la ligne de tramway qui passe derrière le bâtiment, ou encore la suppression du café très proche (qui était dans la transformation masqué par les sons de la circulation).

À l'écoute des transformations de la rue commerçante, les participants ont eu beaucoup plus de facilité à trouver ce qui avait été modifié en entendant directement le changement de hauteur et de matérialité dans la réverbération et la propagation des sources.

Enfin, l'esquisse de la place Saint-André transformée (3) a amené très peu de discussions. Les participants l'ont trouvée moins "intéressante" car beaucoup plus floue et envahie par les sons de la circulation. Ils ont eu des difficultés à trouver la transformation, mais ont également pointé du doigt une esquisse de la situation transformée moins réaliste.

Nous retirons de cette expérience un retour plutôt positif sur une majorité des esquisses proposées avec notamment, pour les transformations, deux scénarios sur trois qui semblaient cohérents (les participants ayant réussi en partie à les imaginer sans indice autre que l'écoute des situations). La possibilité d'échanger sur la pertinence et la justesse des esquisses sonores a également été un temps important qui nous a montré, même en dehors d'une manipulation de l'outil, la capacité de ces dernières à faire réagir et échanger sur le lien entre son, espace et usage, et à faire germer chez les participants une autre "écoute" de l'existant, voire parfois des nouvelles idées de transformations.

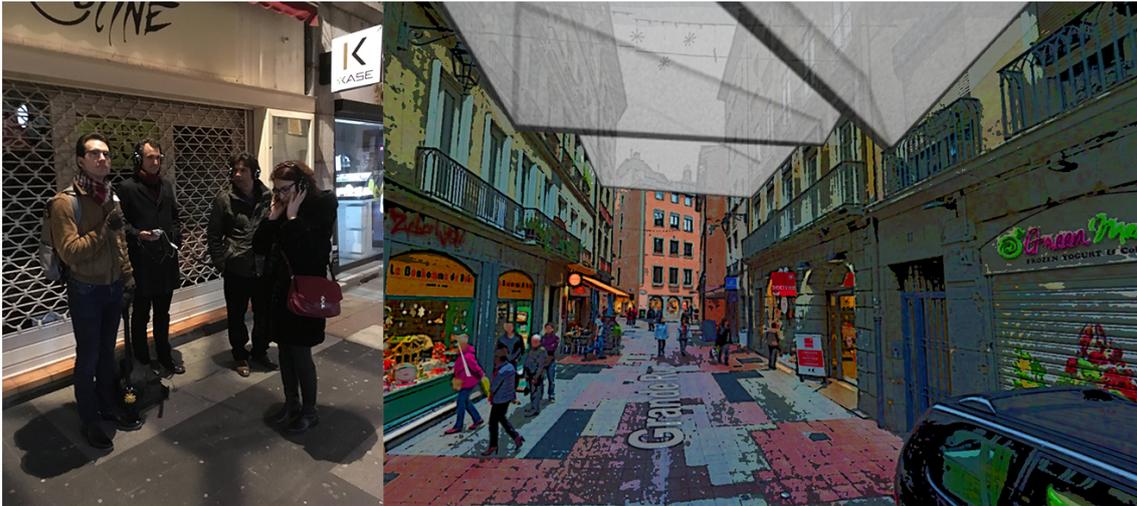


FIGURE 7.3 – Photo d’une écoute pendant le parcours (à gauche) et visualisation de l’esquisse : couverture d’une rue commerçante -point 2- (à droite)

## 7.4 Dans le cadre opérationnel / processus de concertation

*EsquisSons* a pu être testé dans le cadre d’une étude de faisabilité et de programmation pour la réhabilitation d’un quartier d’habitation à Grenoble. Ce quartier, l’« Abbaye » est un quartier résidentiel ouvrier conçu par les architectes Fonne et Rochas et construit en 1930 sous la forme de 3 îlots qui regroupent 15 bâtiments. Pensé comme un quartier moderne (dans sa densité, sa morphologie urbaine, ou encore dans le confort apporté à l’époque), il souffre aujourd’hui d’un manque de rénovation et ne permet pas d’avoir les prestations minimums de confort pour du logement (sur le plan thermique et acoustique notamment). Le quartier a été labellisé "patrimoine du XXe siècle" en 2003 et a ensuite fait l’objet de plusieurs études de réhabilitation / démolition.

Dans un contexte difficile d’échange entre les habitants du quartier (attachés à leurs espaces de vie intérieurs et extérieurs, mais aussi à "l’atmosphère du lieu") et le bailleur social (plutôt intéressé par une reconstruction), la municipalité a appelé en 2016 à une étude de renouvellement urbain que l’équipe interdisciplinaire dirigée par l’agence d’architecture Particules a remporté.

Particules a pu travailler pendant un an sur le quartier en collaboration avec une équipe d’architectes, paysagistes, ingénieurs, économistes et chercheurs afin de comprendre ce qui "fait" le quartier pour ses habitants, et quels éléments font partie du patrimoine bâti et culturel sur le plan matériel et immatériel. Les deux phases suivantes ont permis d’explorer les différents scénarios pour le quartier, puis d’élaborer un plan d’aménagement des solutions opérationnelles arrêtées.

Nous avons ainsi pu tester les scénarios de réhabilitation grâce à *EsquisSons* de manière à aider à la conception et à la préservation des qualités sonores du lieu, mais aussi pour faire entendre les transformations proposées. Après une campagne sur site de mesures acoustiques, d'enregistrements sonores et de plusieurs interviews afin de comprendre les environnements sonores qui font l'identité et l'expérience du lieu, nous avons créé avec l'outil *EsquisSons* plusieurs scènes sonores sur la base des esquisses de projet de réhabilitation pour le quartier<sup>8</sup>.

À l'inverse des études précédentes qui avaient conclu à la destruction des 15 bâtiments concernés, le travail de l'équipe a été de proposer la réhabilitation de 12 des 15 bâtiments par la mise en avant de certains éléments à préserver.

Parmi ces éléments, la forme d'îlot urbain semi-ouvert jouait un rôle important dans l'identité sonore du quartier en créant un important effet de coupure<sup>9</sup> lorsque l'on rentre à l'intérieur de ces îlots. C'est notamment un marqueur fort de l'identité et de la qualité du quartier sur le plan sonore que nous avons pu tester dans les différents scénarios de réhabilitation par l'emploi d'*EsquisSons*.

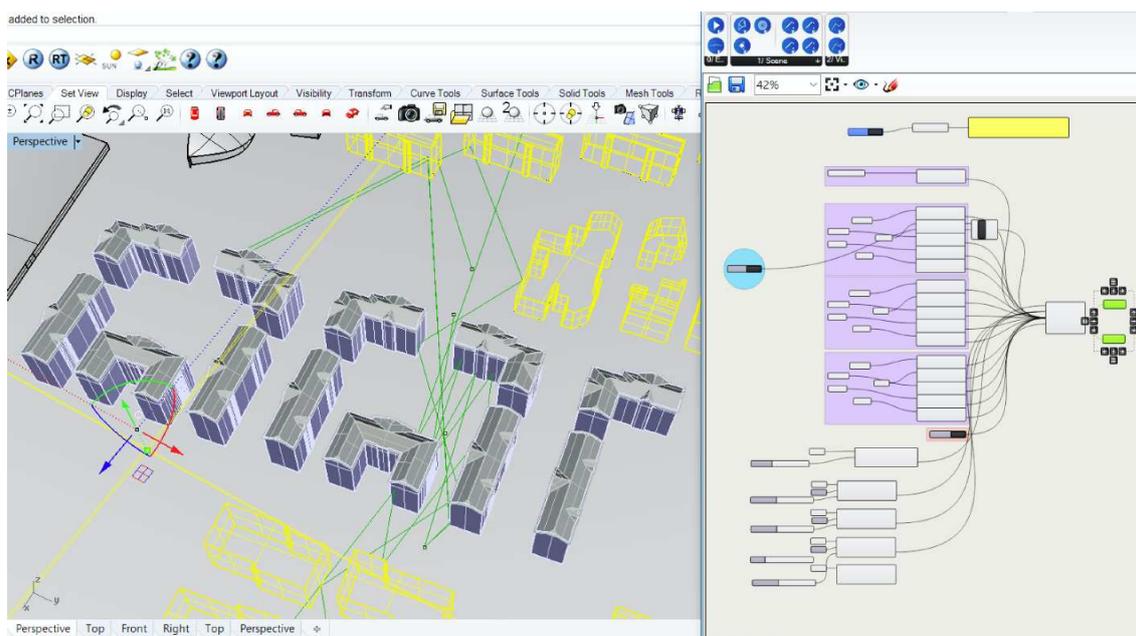


FIGURE 7.4 – Capture d'écran lors de l'utilisation d'*EsquisSons* dans le quartier de l'Abbaye à Grenoble

8. On peut également préciser que nous avons pu évaluer les enjeux thermiques et lumineux associés à la lumière naturelle (*via Ladybug et Radiance dans grasshopper*) conjointement aux esquisses sonores de manière à réfléchir ces problématiques en synergie et donc de proposer les meilleurs scénarios de hauteurs, d'implantations et de façades face à ces enjeux ambiants et énergétiques.

9. Voir page 134

Un des 5 bâtiments existants a dû être détruit (celui en forme de C, voir Figure 7.4) mais un nouveau bâtiment est proposé à la place avec une taille et une empreinte similaires afin de conserver la typologie urbaine des 3 îlots semi-fermés. Il offre au quartier de nouveaux espaces pour les services et les équipements publics. L'objectif de reconstruire les îlots permet de conserver les atmosphères sonores spécifiques qui pourraient être créées au centre. Il est en effet le lieu de nombreuses interactions sonores potentielles entre les usagers des façades et les espaces publics. Il a également été décidé de renforcer plusieurs utilisations de ces derniers (aires de jeux pour les enfants, espace de jardinage, augmentation de la taille et du nombre de marchés pendant la semaine, ouverture du rez-de-chaussée des bâtiments à la location). Enfin, des objectifs "acoustiques" (matérialités) ont pu être fixés pour la façade du nouveau bâtiment. Les scénarios d'usages ainsi que la configuration spatiale ont été introduits dans l'application et le résultat peut être écouté dans un condensé des différentes esquisses sonores disponible en ligne<sup>10</sup> (Voir Figure 7.5).



FIGURE 7.5 – Vidéo de l'esquisse sonore finale pour le quartier de l'Abbaye, Grenoble - (Capture d'écran Vimeo)(Axonométrie : Bureau Particules)

Les esquisses sonores ont alors été utilisées comme un outil pour envisager l'architecture et l'atmosphère sonore, mais aussi comme un outil pour créer des espaces et des pratiques. Comme décrit précédemment, il a servi à penser la dimension globale

10. Esquisse sonore par Théo Marchal pour Particules : <http://www.esquissons.fr/tutoriels/1099-quartier-de-labbaye-en-projet/?lang=en> (Consulté en Février 2019)

du quartier, ce qui signifie non seulement la conception du nouveau bâtiment, mais aussi ses liens avec les espaces publics, la ville, le quartier et tout son environnement local (terrains de jeux, routes, parcs, marché, écoles). Il a donné la possibilité aux concepteurs de s'immerger dans le son des espaces publics et, en sélectionnant et en écoutant depuis plusieurs endroits, il a offert des opportunités pour réfléchir et concevoir les limites architecturales du projet. Enfin, la composition des différentes scènes a permis de réintroduire le temps dans le projet d'espace et la proposition finale a ainsi été conçue afin d'offrir plusieurs ambiances sonores remarquables pendant la journée, la semaine et l'année.

## 7.5 Installation multicanal : Immersion exploratoire

Enfin, une expérimentation de l'outil d'une tout autre nature a pu être menée. Dans le cadre d'une résidence artistique et critique "Écoute et Architecture" de Nicolas Frize à la cité de l'architecture et du patrimoine<sup>11</sup>, nous avons été sollicités pour travailler avec *EsquisSons* dans un des espaces d'exposition de la cité.

L'espace choisi, la "cathédrale" (une grande pièce d'exposition, très réverbérante, rythmée par six grandes arches allant d'un mur à l'autre) nous permet d'installer un dispositif d'écoute spatialisé et ainsi de "jouer" avec l'espace existant et ses morphologies avec différentes esquisses sonores.

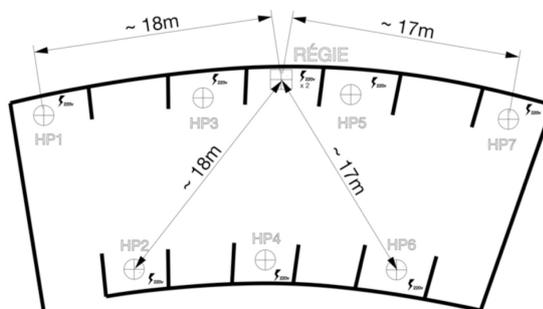
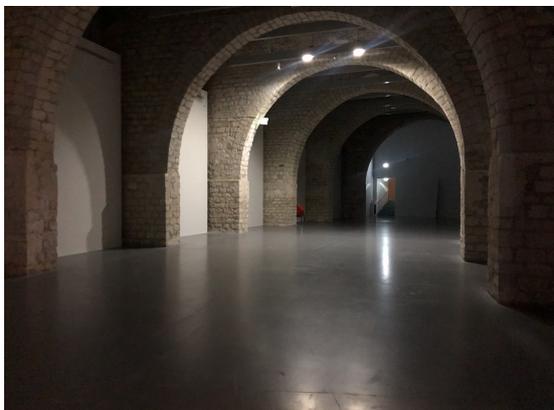


FIGURE 7.6 – Photo de la pièce choisie pour l'installation et plan technique de l'installation dans la salle - Cité de l'architecture et du patrimoine, Paris

La proposition que nous avons faite et que nous avons appelée « Immersion exploratoire » suggère l'écoute d'un espace qui se transforme par et avec les sons.

11. Voir la description complète sur : <https://www.citedelarchitecture.fr/fr/article/ecoute-et-architecture-residence-2019-2020-par-nicolas-frize> (page consulté le 5 septembre 2021)

La perspective sonore de la « Cathédrale » se transforme au fur et à mesure de l'exploration de l'espace : différentes esquisses cohabitent ou se confrontent comme différents points de fuite d'une même morphologie sonore.

*EsquisSons* a été pensé pour faire entendre virtuellement l'acoustique d'un lieu (transformé, reproduit ou projeté) ; mais l'enjeu exploratoire de cette expérience est de reproduire virtuellement l'acoustique de la salle pour ensuite la transformer avec esquissons (dimensions, ouvertures, positions des sources, matérialités) et enfin la faire entendre à nouveau dans l'espace réel. Cette expérience nous permet ainsi d'explorer les possibles avec l'outil de travailler "dans" une acoustique existante et de tester comment, en la caricaturant ou au contraire en la limitant au maximum, on peut faire entendre des esquisses immersives dans une pièce et, pourquoi pas, esquisser par l'écoute des transformations en direct.

Il s'agit également du premier test que nous avons été amenés à réaliser en écoute multicanal<sup>12</sup> avec *EsquisSons* qui a été pensé pour une écoute en stéréo (au casque ou sur haut-parleurs). Pour tester l'outil sur un système de diffusion plus large, nous avons transformé une partie du code et de l'application MaxMSP afin d'avoir une image spatiale plus "découpée" et donc plus précise sur un système à sept haut-parleurs.

On cherche donc à faire varier dans le modèle 3D les morphologies de la pièce modélisée, ses matériaux, les sources qui s'y déplacent, mais aussi les ouvertures et la porosité avec l'extérieur, ou encore les séparations entre les différents espaces. Pour faire entendre ces transformations et "scénariser" l'expérience, chaque situation a été esquissée sur *EsquisSons*, puis exportée vers le séquenceur dynamique Ableton Live<sup>13</sup> adapté à la performance et nous permettant en direct de passer d'une scène à l'autre, voir de les mixer les unes aux autres. Ableton Live nous a également permis de travailler cette performance en simulant l'écoute multicanal et notre position dans celle-ci lorsque nous n'avions pas à disposition le système 7.1 pour travailler.

Suite aux conditions sanitaires dues à l'épidémie de Covid19 en 2020 puis en 2021, l'expérience a dû être reportée plusieurs fois pour finalement être annulée. Nous n'avons ainsi jamais pu tester *in situ* le dispositif multicanal d'esquisse ni obtenir un retour de personnes "extérieures" sur celui-ci. Nous avons néanmoins pu retirer de nos tests des questions et des pistes qui ont permis de mettre en valeur certains manques, ainsi que certains potentiels à développer sur ce sujet.

---

12. L'écoute multicanal correspond à une écoute de plus de deux haut-parleurs (système stéréo) qui permet une diffusion plus spatialisée. Ici, le travail a été pensé pour un système en 7.1, c'est-à-dire sept haut-parleurs et un caisson de basse)

13. Ableton Live est logiciel musical de type séquenceur. Il est particulièrement adapté à la performance musicale puisqu'il permet de "créer[r]" dans un arrangement linéaire classique ou [d']improviser[r] sans les contraintes d'une timeline dans le mode Session" Description officielle d'Ableton Live : "Qu'est ce que live" - <https://www.ableton.com/fr/live/what-is-live> - page web consultée le 5 septembre 2021

-X'XX	0'00	0'50				3'00	3'30 >>
Boucles (Onde(s) sonore(s) faible(s) avec variation de hauteur et de localisation)							
	Transition vers l'espace « sonnart » : Pas puis Voix qui font « sonner » la pièce						
		Transition vers la première transformation par l'ajout d'émergences localisées pour à la fin former un tout (la pièce transformée par de nouvelles ouvertures, des dilatations et des compressions etc.)					
			Émergence 1	Émergence 2	Émergence 3	Émergence 4	
						Pas de changements / écoute seule	
							Effet d'inversion >>
>> 3'40	3'50	3'50	4'20	5'00	5'30	6'00	7'00
>> Effet d'inversion							
		Pas de changements / écoute seule					
		Transport de la pièce dans un autre environnement (déplacement vertical / horizontal)					
			Discretisation des sources (séparation plus franche de l'espace en sous espaces)				
				Basculement progressif vers un nouvel environnement (extérieur : Parvis du Trocadéro)			
					Transformation spatiale pour retrouver les configurations de la cathédrale en conservant les sources du parvis		
						Transition progressive vers les ondes du début et diminution du volume jusqu'à ce que ce soit à peine audible, infra	

FIGURE 7.7 – Frise temporelle des scénarios pour l'installation multicanal réalisée avec EsquisSons

## Développer plus en profondeur le multicanal pour permettre un outil accessible à tous

Bien que nous n'ayons pas pu installer le dispositif d'esquisse sur place à la cité de l'architecture et du patrimoine de Paris, nous avons néanmoins mené plusieurs tests "appareillés"<sup>14</sup> tout au long de l'élaboration de celle-ci et nous pouvons ainsi comparer cette technique avec l'écoute au casque que nous utilisons depuis le début. Le travail sur le multicanal est un atout considérable pour "faire entendre" l'espace sur un système de diffusion. Le positionnement des sources est beaucoup plus précis et permet de mieux rendre compte des subtilités de certaines morphologies intérieures ou encore de certains effets d'espace (effet de couplage<sup>15</sup>, effet de métabole, effet de coupure, ou encore effet de distance<sup>16</sup>)

Néanmoins, ces possibilités offertes ne viennent pas sans contraintes, car le système de diffusion multicanal implique une lourdeur technique plus importante. Il faut disposer d'une interface audio capable de gérer la diffusion sur plus de deux sorties,

14. L'esquisse a pu être diffusée dans un système avec 6 écoutes dans un espace malheureusement trop petit pour percevoir toutes les subtilités

15. L'effet de couplage décrit l'effet d'interaction réciproque entre deux phénomènes sonores : deux espaces adjacents par exemple, qui vont teinter leurs acoustiques mutuellement (voir répertoire des effets sonores (Augoyard & Torgue, 1995))

16. Voir section 5.4.2, page 133,

ainsi que des haut-parleurs adaptés. Il faut également positionner les écoutes dans l'espace et ce dernier doit être le plus neutre possible si l'on veut pouvoir entendre un résultat conforme à ce que renvoie *EsquisSons*.

Cette contrainte de l'appareillage ramène ici à une expérience d'écoute spécifique au lieu. On écoute dans un environnement réel, ou seul le son du dispositif vient transformer une ambiance existante : celle-ci est de fait plus prégnante que lorsque l'on dessine et que l'on écoute un modèle numérique au casque. Cette hypothèse reste à tester dans de futures expérimentations, mais on suppose que l'effet d'immersion observé lors des ateliers est moins fort, car l'écoute se retrouve teintée par l'espace dans lequel on fait l'expérience.

Enfin, au-delà des contraintes logistiques d'installation d'un dispositif d'écoute en multicanal, nous avons du faire face à des difficultés sur le plan logiciel pour à la fois rééquilibrer les calculs qui ont été pensés pour l'écoute stéréo, mais aussi et surtout gérer la surcharge de ces derniers qui sollicite beaucoup les machines. En effet, on démultiplie toutes les étapes et notamment des étapes d'intersections géométriques qui sont optimisées pour un calcul en stéréo, mais deviennent vite très gourmandes lorsqu'il faut esquisser à destination de plus de 4 haut-parleurs en diffusion.

### Les nouvelles pistes ouvertes par le travail *in situ*

Il a été très intéressant pour nous de projeter une esquisse diffusée dans un espace existant. En effet, l'outil est normalement pensé pour esquisser dans des espaces modélisés "virtuels" sans prendre en compte l'acoustique existante de l'espace de diffusion. Pour arriver à cette prise en compte, nous avons dû ici intégrer au modèle virtuel l'espace existant qui nous a ensuite permis lorsque c'était souhaité d'esquisser à l'intérieur. Pour cela, nous avons fait une esquisse dans l'esquisse (c'est-à-dire que l'on teste des configurations, des usages, des transformations morphologiques à l'intérieur de la cathédrale qui est modélisée dans le modèle virtuel), puis lorsque l'on souhaite diffuser le son (ou l'exporter pour le diffuser ensuite), on supprime le volume de la cathédrale qui aura son effet propre en tant qu'espace de diffusion et dont on ne souhaite pas rajouter la réverbération, la propagation la porosité, etc. dans l'esquisse.

À l'inverse il a parfois été intéressant de pouvoir laisser l'espace existant transformer l'esquisse pensée "*in vitro*" pour justement observer et écouter la transformation de l'un sur l'autre. Dans ce cas, on travaille une esquisse de configuration spatio-sonore que l'on diffuse directement dans la cathédrale pour en apprécier les conséquences directes et indirectes.

Bien qu'encore à l'état expérimental, ces tentatives proposent de nouvelles pistes de travail sur *EsquisSons* notamment pour une utilisation directement sur site qui permettrait, dans un espace intérieur, de faire entendre des transformations de l'espace via un petit système d'écoute multicanal et un outil d'esquisse adapté<sup>17</sup>.

---

17. Ce n'est pas le cas actuellement : le développement du multicanal et la prise en compte d'un espace *in situ* sont encore des "bricolages" internes sans interface utilisateur et ils sont difficiles à rendre robustes pour une utilisation plus large



# Chapitre 8

## Retour sur les corpus, résultats et apports de l'outil

Dans ce dernier chapitre, il s'agit de compiler les retours des différents corpus présentés précédemment sous la forme de deux parties distinctes. La première évoquera ce que les différentes phases de travail nous ont apporté ; et la deuxième au contraire présentera ce qui n'a pas pu fonctionner ou n'a pas abouti.

### 8.1 Les acquis

#### Regard pragmatique : qu'est-ce qui "fonctionne" ?

On peut relever plusieurs réussites de fonctionnement et d'utilisation dans ce travail. D'abord sur le plan technique, puisque nous avons réussi à faire fonctionner un outil d'auralisation en articulation avec rhinoceros 3D et grasshopper et cela au fil des années et des mises à jour successives des logiciels. On constate que malgré les nombreux *bugs* qui sont apparus sur le parcours de l'outil *EsquisSons*, il a toujours été possible de le faire fonctionner afin de donner à entendre les esquisses numériques. Il est encore aujourd'hui opérationnel et bien utilisé avec presque 3000 téléchargements depuis la plateforme officielle des *plug-ins* pour rhinoceros<sup>1</sup>.

Cette "réussite" technique permet de montrer les possibles concrets et technologiques qu'offrent les outils numériques pour l'architecte et l'architecture et plus particulièrement pour le champ des ambiances dans la conception avec une expérience de développement positive qui conduit à un *plug-in* stable et fonctionnel, mais aussi à une utilisation plus étendue que celle des terrains d'étude que nous avons menés.

En complément de cela, *EsquisSons* a permis de montrer comment une articulation à des outils existants peut-être pertinente non seulement pour accélérer le dévelop-

---

1. 2977 téléchargements d'*EsquisSons* depuis "*Food4rhino.com*" au 1er septembre 2021

pement en focalisant sur des enjeux précis, mais également pour faciliter la prise en main et l' "adoption" du logiciel qui devient de fait intégré à un système utilisé plus largement. Nous considérons cette articulation et les tests associés comme une ressource importante pour la réflexion sur de futures méthodes et outils logiciels aidant à la prise en compte des ambiances dans le projet d'architecture. En effet, cette manière de penser un outil à l'intérieur d'un écosystème déjà fonctionnel permet comme on l'a dit plus de facilité à la prise en main, mais aussi une meilleure "diffusion" et visibilité de l'outil qui se trouve intégrée à une dynamique plus importante et portée par l'ensemble de l'écosystème.

Cette position pose néanmoins question lorsque, comme nous l'avons fait, on s'inscrit dans un ensemble qui implique l'achat. En effet le logiciel rhinoceros 3D est un outil payant et privé qui, en mettant à disposition son écosystème pour le développement de *plug-ins*, profite par rétroaction d'une utilisation et donc d'une part de marché supplémentaire. Il pourrait être intéressant de regarder dans quelle mesure les outils gratuits ou "*open source*" pourraient nous offrir une plateforme de développement pertinente pour *EsquisSons* et pour d'autres outils à développer. Il faudrait néanmoins mettre dans cette balance la plus faible utilisation et visibilité de ces outils qui réduirait de fait les acquis avancés précédemment.

Enfin nous avons pu constater une certaine "fluidité" dans l'utilisation de l'outil et dans les interactions avec l'écosystème de la conception (numérique / analogique / humain). Ainsi lors des ateliers et après la phase de prise en main, on peut observer que les "médiums" que convoque l'outil (*l'interface graphique sur l'écran, le script qui permet de qualifier, positionner et transformer l'environnement sonore, ou encore le retour audio directement dans le casque des utilisateurs*) deviennent indissociables dans la manipulation. Cette fluidité s'interrompt seulement lors de *bugs* logiciels qui empêche ou bloque une dynamique engagée; celle-ci n'a en revanche jamais été rompue par une incohérence, ni même par le partage de l'écoute ou encore par l'utilisation de l'outil.

### **La réflexion sur l'outil et les méthodologies de mobilisation des ambiances pour la conception**

Ces acquis techniques et pratiques qui sont liés au développement d'un outil nous permettent d'observer plus précisément les interactions entre instrument et artefact et notamment le rapport spécifique à l'objet de conception par le filtre de l'outil. En effet, ce dernier lorsqu'il n'est pas incarné par des modes d'utilisation (ce que l'on peut constater lors des premières phases de découverte/apprentissage par exemple) perd ce liant dont nous parlions précédemment et qui rend indissociable le script de l'espace modélisé et du son qui en parvient. Chaque élément se trouve incarné dans un objet qui fait sens en tant que tel pour l'utilisateur, mais ne fabrique pas un tout. Ainsi le composant dans le script n'est pas appréhendé pour son effet sur le son entendu ou sur les morphologies et inversement. Cette première approche est

particulièrement difficile pour l'utilisateur qui a l'impression de suivre un exercice à reproduire, et même après le retour audio ne parvient pas à faire le lien entre les manipulations précédemment effectuées et le résultat entendu. Pour la grande majorité des personnes ayant pu utiliser l'outil lors des ateliers que nous avons observés, cette phase d'apprentissage est dépassée après une ou deux heures d'utilisation et nous pouvons voir que ce dépassement correspond précisément à la phase temporelle où ces derniers commencent à intégrer et fabriquer pour eux-mêmes des "schèmes d'utilisation". Cela implique dans la pratique la préfabrication de scripts et fabrication dans l'expérience une immersion dans le modèle. On peut alors observer que les utilisateurs commencent à considérer les différents médiums et interfaces de l'outil comme un tout fonctionnant ensemble.

On pense également que cette immersion permet d'apporter une nouvelle proposition pour la prise en compte des ambiances dans les outils numériques de conception. En effet, l'utilisation de logiciels de CAO implique une certaine mise à distance ainsi qu'un rapport "objectif" à ce que l'on dessine du fait que l'on manipule "de loin" une configuration spatiale et morphologique, mais aussi parce que l'interface visuelle, l'écran, impose une distance physique ainsi qu'un cadrage limité à ce qu'il y a "de l'autre côté". Cela génère une complexité des interactions entre un mimétisme du réel et une forte mise à distance de ce même "réel" à travers une forme d'abstraction de ce qui est conçu. La proposition de faire entendre ce que l'on dessine à travers l'écoute et non plus à travers l'interface visuelle de l'écran permet en partie de s'affranchir de cette mise à distance et des limites que nous avons présentées plus haut. En effet l'immersion "par l'écoute" met de fait le concepteur dans une autre posture : à l'intérieur des morphologies, des matérialités, des usages et donc des espaces ainsi dessinés.

On a également fait le choix de ne pas proposer un résultat complètement objectif et quantitatif avec l'outil *EsquisSons* pour prévenir au maximum de cette mise à distance qui revient très vite lors des ateliers dès que l'écoute n'est plus mobilisée. Ainsi l'idée est de conserver cette interaction "par l'écoute" à ce qui est dessiné afin de faire ressentir avant de faire décrypter<sup>2</sup>.

### **Apporter de nouvelles ressources pour parler du son**

On se rend compte à travers les différentes étapes de développement et les mobilisations de l'outil (*ateliers et expériences impliquées*) qu'il est possible d'utiliser *EsquisSons* pour "croquer" une ambiance sonore et des scénarios de perception à travers le choix de configurations d'usages, de morphologies et de matérialités. On rend alors tangible, par l'écoute, l'impact sur l'ambiance sonore de ces choix et l'on

---

2. La version 3.1 de l'outil permet maintenant d'afficher et d'employer des résultats tels que le temps de réverbération (retour chiffré) ou la projection de rayons (retour visuel), mais arrivent "après" dans les scripts et leur extraction nécessite d'avoir construit le processus d'auralisation dans le logiciel avant de pouvoir les visualiser.

arrive ainsi à un réel outil permettant de parler d'espace par le son ou de son par l'espace.

Le solfège - que nous avons développé dans la section 5.4<sup>3</sup> et qui s'est construit par le développement et le test de l'outil - articule à la fois une posture analytique et prospective sur le son. En plus de proposer un outil concret qui, comme on l'a dit, permet de concevoir conjointement son et espace, le travail mené a également permis de dégager de nouvelles catégories d'effets mais aussi d'en réemployer certains déjà développés dans le répertoire des effets sonores. L'emploi de ces effets nouveaux ou préexistants constitue une ressource importante pour qualifier et manipuler le son dans l'espace puisqu'ils permettent notamment de s'extraire du champ lexical de la gêne et du bruit qui revient souvent lorsque l'on cherche à interroger les espaces sonores. Il s'agit ainsi d'un levier supplémentaire pour ne pas lisser la granularité et la complexité des environnements sonores et au contraire pour mettre en avant des spécificités autres que la caricature du bruyant et du calme.

Enfin, il est possible dans toutes les phases de projet d'utiliser l'outil pour ses capacités de restitutions sonores et donc pour "donner à entendre" ce que l'on a projeté. On peut en effet exporter les environnements sonores produits et cette possibilité permet au concepteur de facilement esquisser et représenter par le son un environnement et donc de l'exploiter comme un élément utile de représentation et de médiation du sensible. Il est néanmoins important de pointer la dimension prospective d'*EsquisSons* qui va au-delà de la restitution ou la représentation audiovisuelle du son. Le résultat en temps réel fabrique un rapport entre ce que l'on voit et ce que l'on entend. C'est cette spécificité qui permet d'exploiter ce duo de l'audiovisuel comme un matériau de conception et donc, par l'écoute, de ressentir et d'évaluer les choix faits dans le modèle.

### Interroger l'(es) échelle(s) de l'audible

Comme on a pu le voir à la fois en conclusion de notre premier corpus mais aussi du second<sup>4</sup>, le travail autour d'*EsquisSons* a permis de renforcer une investigation sur les enjeux de distances liés à la perception sonore. Il s'agit notamment de mettre en avant les relations complexes et essentielles qui s'opèrent entre les sons proches et les sons lointains dans la construction de notre perception d'un espace sonore et dans le vécu de ce dernier. L'utilisation d'*EsquisSons* rend possible cette manipulation des distances impliquées par le son et donc de l'effet de distance que nous avons pu identifier. En effet par la possibilité de manipuler les sources par rapport au point d'écoute, mais aussi comme on l'a vu lors des ateliers de travailler sur des dispositifs permettant de moduler ou de rééquilibrer les rapports proches et lointains selon la hauteur par exemple, cette dimension de l'environnement perçu devient elle aussi

---

3. Voir "Le solfège d'EsquisSons, page 131

4. Voir Section 5.4, page 131, et Section 8, page 205,

un matériau de projet à part entière<sup>5</sup>.

Rendre possible cette manipulation permet d'interroger la notion d'échelle et notamment de ne pas la considérer seulement dans un sens « euclidien » qui ne se résume qu'à un rapport "quantitatif" direct avec la notion d'échelle, mais aussi et plutôt pour son rapport au corps et aux dimensions sensibles qui par leurs existences spatiales sont constitutives de notre rapport aux dimensions et aux distances dans l'espace. On pense par exemple à la modulation de certains espaces permise par l'outil et qui révèle ce rapport aux distances : (l'ouverture d'une fenêtre, d'une porte, l'entrebâillement qui module la distance perceptive et interagit différemment avec les environnements proches et lointains). L'altimétrie, tout comme le degré d'inclusion deviennent également des paramètres particuliers pour moduler notre perception sonore des distances, des échelles et donc des enjeux "qualitatifs" du projet d'architecture.

### **Prendre le contre-pied de l'hégémonie technique de la médiation**

*«[La technique] constitue le milieu humain en milieu technicien, organise le monde et oriente les perceptions et les jugements. Elle devient système dont on ne peut sortir» (Akrich, 1993)*

Akrich reprend ici les théories développées par Ellul<sup>6</sup> qui consistent notamment à voir la technique pour ce qu'elle est et ce qu'elle fabrique en médiation entre deux entités. *"Alors que l'idée même de médiation suppose la mise en relation entre différentes entités, mise en relation qui transforme ces entités, elle devient chez Ellul à la fois la relation et les termes de cette relation, puisque l'imposition de la logique technique conduit à l'indifférenciation des ordres, politique, social, économique, moral, etc., jusque là, maintenus séparés"*(Akrich, 1993) Cette idée conduit à penser une certaine autonomie des phénomènes techniques face aux valeurs culturelles et sociales et plus encore à un déterminisme de celle-ci sur notre rapport au monde : *"Dans la société technicienne, la médiation technique devient totale ; elle détermine la relation non seulement à la nature mais aussi aux autres hommes ; elle disqualifie les médiations symboliques que l'homme avait patiemment tissées."*(Cérézuelle, 2019). Face à ces réflexions que beaucoup jugent prémonitoires de notre époque, il s'agit pour nous de proposer une "une autre voie" à celle d'une "médiatisation technique [qui produit] le phénomène sur lequel on ne cesse de s'étonner, le sentiment croissant de solitude individuelle dans un monde de communications généralisées"(Ellul & Porquet, 2012). Nous pourrions ainsi affirmer que l'outil *EsquisSons* fait la proposition d'employer des outils techniques contemporains comme contre-

---

5. Voir les Carnets de Terrain dans leur ensemble et plus spécifiquement "Option design sonore et acoustique architecturale 2018/2019" pour le travail sur les balcons, les façades et la hauteur (page 176)

6. Voir *La technique ou l'enjeu du siècle* (Ellul, 2008) ou encore *Le système technicien* (Ellul & Porquet, 2012)

piéd à cette médiatisation de la technique en tentant de réintroduire l'homme et sa perception dans le système technique. Plutôt que de continuer à développer des outils permettant d'extraire ou de générer des informations objectives et "absolues", on pourrait discuter du potentiel d'utiliser la technique pour s'en abstraire. Nous pourrions ainsi, par le développement d'outils, sortir du contrôle - *illusoire* - que nous proposent les outils numériques issus de ce que Ellul appelle les phénomènes techniques<sup>7</sup>.

Cela se manifeste concrètement dans l'outil que l'on a développé ici par la tentative de décadrer la focale du concepteur et de réintroduire le sujet percevant dans un univers ayant tendance à laisser penser que l'on travaille sur/avec un(des) objet(s). Comme nous l'avons déjà évoqué, *EsquisSons* a été volontairement pensé pour ne pas être trop "exact" et ainsi laisser une certaine latitude à l'auralisation résultant de l'esquisse. Cette spécificité, initialement pensée pour faciliter la manipulation et surtout la non-détermination des différents paramètres lors des toutes premières phases de conception (Marchal et al., 2016), s'est ensuite révélée être un véritable atout. En effet, cette latitude générée ou laissée possible par un résultat non "fini", amène à une non-détermination de la production par l'outil et s'articule ainsi plus naturellement aux perceptions de l'utilisateur<sup>8</sup>.

## Piste, hybridation et méthodes de recherche

Notre travail a permis de mettre en avant une posture singulière de la recherche en architecture en présentant une typologie de "recherche en action" qui se fait sur elle-même. On fait ainsi avancer les productions et les analyses par le développement de l'outil, et inversement, l'outil se construit à la suite des productions et de leurs analyses. Cette particularité implique une forme d'"errance" dans l'avancement qui nous a parfois déroutés, et qui d'autres fois a déclenché des avancées fulgurantes en très peu de temps. On constate également que cette approche n'est pas étrangère à la nécessité d'hybridation des disciplines qu'a demandée ce travail et qui nous semble particulièrement nécessaire pour tout travail de recherche en architecture. En effet, avancer par itération et surtout, on pourrait dire, par "rétroaction" d'un résultat sur l'autre, nous a permis de travailler sur une seule ou deux modalités à la fois sans pour autant perdre le lien entre les parties (*On peut par exemple prendre un temps à travailler sur les modèles et calculs d'acoustique appliquée indépendamment du reste puis, par la suite, ré-interroger et tester ce développement avec les modalités spatiales, l'usage des espaces, ou encore la cohérence à l'écoute*). On ne prétend bien

---

7. « Le phénomène technique est la préoccupation de l'immense majorité des hommes de notre temps de rechercher en toutes choses la méthode absolument la plus efficace »(Ellul & Porquet, 2012) cité dans (Cérézuelle, 2019)

8. Il s'agit là d'une dimension révélée par l'outil qu'il nous semble pertinent d'interroger plus en profondeur dans de futurs travaux

sûr pas réinventer des méthodes préexistantes avec cette approche<sup>9</sup>, mais plutôt réaffirmer ou insister sur ses potentiels. Le non-savoir comme aspect méthodologique de la recherche en architecture et en acte nous paraît alors être une posture sur laquelle insister pour inciter à une hybridation des regards, mais aussi à une curiosité qui pousse au décadrage de sa propre spécialité.

## 8.2 les limites de la recherche

Dans cette deuxième partie des "limites", il s'agit de parler de ce qui n'a pas pu être mené jusqu'au bout, ou encore des déconvenues et des doutes qui persistent sur certains points.

### Regard pragmatique : qu'est-ce qui ne "fonctionne" pas ?

À l'instar de la section "qu'est-ce qui fonctionne?", on regarde ici les difficultés associées à l'outil sous un angle technique et pratique. La première qui a pu agir comme un frein et qui est toujours une limite forte de notre travail, ce sont nos propres compétences dans la maîtrise du développement logiciel qui n'est pas notre champ disciplinaire et qui, en plus de demander des apprentissages permanents, reste un frein global à certaines volontés et avancées de développement sur l'outil. Cette limite est particulièrement forte en ce qui concerne l'optimisation de l'outil et donc sa capacité à faire de l'auralisation en temps réel. En effet, lorsque les morphologies deviennent trop complexes, les temps d'attente peuvent être importants avant de pouvoir entendre le résultat des transformations. Pour pallier cela, nous avons fait le choix de laisser la possibilité de désactiver le module de réverbération qui est le plus gourmand, mais cette solution n'est pas idéale et pourrait être beaucoup plus aboutie si l'on avait pu optimiser l'outil que ce soit dans les méthodes de calcul (pour la partie acoustique appliquée) et dans le code source (pour la partie informatique). Un dernier frein technique se cristallise autour du rythme des changements dans le monde de l'informatique (qu'ils soient logiciels ou matériels) qui sont éprouvants pour la diffusion et la bonne marche de l'outil. L'instabilité des outils numériques<sup>10</sup> ont ainsi rendu particulièrement difficile le développement pendant le travail, mais sont aussi et surtout un frein majeur pour la maintenance et l'évolution de l'outil qui demande un travail constant de mise à jour pour pallier et s'adapter à ces changements. Nous constatons ici un décalage entre une impression de tâtonner, de chercher, d'osciller d'une solution à l'autre, et un monde (l'environnement numérique) qui apparaît comme étant le monde de l'immédiat et de l'exact.

---

9. Notamment développée par Marie Pierre Lassus dans son livre "Le non-Savoir ; Paradigme de connaissance" (Lassus, 2019)

10. Les mises à jour des systèmes d'exploitation, les mises à jour des logiciels hôte ou encore les différentes configurations matérielles à considérer

## Une étape manquante du continuum

Nous avons souligné à plusieurs reprises l'importance du continuum conception-fabrication et la possibilité d'y articuler un outil d'évaluation sensible dès les phases d'esquisse. Cela aurait été pour nous une véritable piste d'investigation pour comprendre la place de l'expérience dans ce continuum qui la mobilise du début à la fin avec des modalités différentes. Nous n'avons malheureusement pas réussi à faire

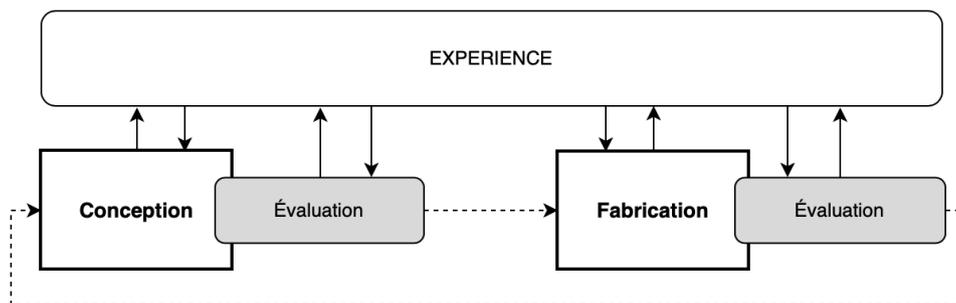


FIGURE 8.1 – La place de l'expérience dans le continuum conception-fabrication : hypothèse sous la forme d'un diagramme

aboutir les projets menés en ateliers jusqu'au stade de prototypage à cause de leurs temps courts et des difficultés à tester le continuum conception / fabrication à la suite de l'outil d'esquisse lui-même. Un enseignement d'option en école d'architecture mené sur un temps long (un semestre) devait nous permettre pendant l'année universitaire 2020/2021 d'aboutir au test de quelques prototypes en parallèle de leur élaboration avec *EsquisSons*, mais le contexte sanitaire particulier de cette année précise nous a empêché de finaliser ce terrain comme nous le souhaitions. Cette proposition d'aller jusqu'au prototypage nous aurait également servi de "démonstrateur" pour tester le niveau de "justesse" de l'outil de manière inversée à ce que nous avons pu faire auparavant ; c'est-à-dire en comparant l'esquisse sonore provenant du modèle numérique et l'expérience du résultat construit.

## La difficulté à interagir/révéler/illustrer avec les sons

À l'usage, l'outil pose souvent des problèmes de "manipulation" dans notre rapport direct à l'objet conçu que l'utilisateur voudrait malléable et transformable au gré de ses pensées. Avec *EsquisSons*, il est nécessaire d'anticiper, puis de tester des agencements et des configurations pour approcher ce que l'on avait en tête, petit à petit. C'est pour beaucoup un changement de paradigme dans la manière de concevoir et l'on perd parfois la spontanéité de l'approche initiale quand l'utilisateur ne

retrouve pas ses repères dans la malléabilité de la matière sonore. En effet, cette dernière est beaucoup plus volatile et moins tangible et immédiate que la matière physique, en volume, avec laquelle on a beaucoup plus de facilité à interagir via un outil numérique. Cela implique parfois des erreurs ou des incompréhensions que l'outil seul ne suffit pas à régler. Bien souvent, la présence d'un "accompagnateur" comme nous avons pu le faire durant les ateliers s'avère très utile pour permettre une meilleure approche/compréhension de l'outil.

### **La réversibilité de l'outil**

Ce travail n'a pas permis de tester une des volontés initiales d'*EsquisSons* et qui était de permettre une réversibilité de l'outil. Nous entendons par réversibilité la possibilité de composer à partir de sons, de filtres et d'effets élémentaires pour produire, à partir de cette "composition", une morphologie modélisée et une répartition des sources dans cet espace 3D. Cet imaginaire "maximal" que nous avons pour *EsquisSons* a du être abandonné, car il représentait un nouveau pan de travail à part entière et trop de fragilité sur le plan technique. On regrette néanmoins de ne pas avoir pu aller plus loin dans les essais sur cette partie de l'outil qui aurait pu permettre de tester notamment les différences d'approche entre un point de départ uniquement sonore et un point de départ uniquement visuel et ainsi tester l'impact de l'un sur l'autre dans des conditions inverses.

### **La complexité du travail exploratoire**

Dans les limites du travail, nous pouvons également noter la difficulté que nous avons eue à mener de front un développement logiciel avec une méthode itérative qui se veut capable de gérer à la fois les enjeux techniques et les enjeux fondamentaux/-théoriques d'un tel outil. On constate par exemple que la méthode de "test" de l'outil en souffre puisqu'elle perd en "objectivité" et en recul du fait de la construction de l'objet d'étude (l'outil *EsquisSons*) qui s'opère en parallèle qu'on le test.

Il est ainsi très difficile de présenter à la fois la construction d'un outil numérique avec toute la dimension informatique que cela implique, la dimension acoustique qui permet de réaliser les modèles et les calculs, les pistes et les enjeux pour la conception ambiante, et enfin les mises en situation ou en acte de l'outil pour tester toutes ces dimensions. Il s'agit là d'une spécificité de notre discipline qui a été abordée en introduction et qui implique de considérer la complexité de l'ensemble des éléments qui font projet pour pouvoir les prendre en compte.

L'architecte, qui a cette capacité d'articulation dans le projet, tout en maintenant un certain degré de radicalité du système, doit pouvoir avoir accès à certaines informations pour ensuite les employer comme des paramètres du projet. C'est pour cette raison que l'outil a été pensé de manière à ne pas "envahir" le processus de conception avec un grand nombre de données (en entrée et en sortie), mais plutôt

pour remettre en avant la perception comme un outil et un matériau de projet.

### Le manque de comparaisons directes

Par manque de temps, mais aussi de fenêtres disponibles pour mener des expérimentations, nos méthodes n'ont pas permis de mener des moments de comparaison "avec et sans" *EsquisSons* qui auraient pu confirmer ou infirmer plus précisément nos premières constatations sur l'outil en observant les différences et les similitudes. Cela est particulièrement marquant pour tester notre hypothèse d'un élargissement de la prise en compte des ambiances dans la conception grâce à l'outil. En effet, malgré des résultats sur les postures de conception et des observations concrètes d'ouverture ou de décadage qui permettent de dégager un certain nombre de potentiels pour la conception architecturale au prisme des ambiances et de l'espace vécu<sup>11</sup>, nous avons plus de mal à démontrer de manière stricte cette efficacité qui ne peut être testée que par des méthodes de comparaison plus formelles.

#### 8.2.1 Les subtilités d'usage et de perception

On notera enfin une dimension difficilement perceptible et/ou représentable avec *EsquisSons*, c'est la "réélaboration du phénomène sonore" dont parle Jean François Augoyard (Augoyard, Sevin, & Voilmy, 2009). On peut définir cette notion comme un "décalage" qui s'opère entre une mesure acoustique, spatiale, voire même sociale, et la réalité des phénomènes perçus et des subtilités de l'environnement sonore, des spatialités et des dispositifs associés. L'exemple connu de cette réélaboration, c'est "la petite marche" qui n'apparaît nulle part dans les évaluations préalables d'une configuration spatio-sonore, mais qui apparaît ensuite très clairement dans la parole habitante (*dans le cadre d'écoutes réactivées*) comme un marqueur de l'environnement, voire même un indice sur les usages, cette dernière permettant notamment de savoir *qui* vient, et *où* il va. Cette dimension du son dans l'espace peut difficilement apparaître dans un outil comme *EsquisSons* puisqu'il ne peut faire entendre des subtilités d'usages et de perceptions conditionnées par le contexte spatio-socio-culturel que "ni le descriptif architectural, ni les mesures, ni la prise de son ne [peuvent] indiquer" (Augoyard, 2001)

---

11. Voir en conclusion page 215

# Conclusion

## 9.3 L'outil en application

Comme nous l'avons vu, *EsquisSons* a pu être utilisé et testé pendant quatre ans dans le cadre d'ateliers avec des étudiants et des professionnels pour expérimenter l'utilisation de l'application et projeter des environnements sonores selon différents cadres pédagogiques (ateliers intensifs, workshop, projets sur un temps long). Comme nous l'avons également précisé, *EsquisSons* n'a pas pour objet d'être un outil de simulation ou de validation, mais plutôt un levier, ou une "manière" pour permettre d'intégrer et d'interroger les sons et leur composition dans le processus de conception architecturale. C'est cette potentialité que nous avons cherché à tester dans différents cadres, qu'ils soient pédagogiques, pratiques ou opérationnels de manière à répondre aux questions initiales :

- *Comment un outil numérique peut-il permettre d'articuler les ambiances aux enjeux de conception ?*
- *Dans quelle mesure la posture d'écoute peut-elle être un potentiel pour la prise en compte des ambiances dans le projet d'architecture ?*

Nos observations sur des situations d'utilisations très différentes nous permettent de présenter ici trois types de potentialités que nous avons relevées et qu'*EsquisSons* est capable d'apporter au processus de projet. Il s'agit plus précisément de discuter trois questions architecturales qui découlent spécifiquement du matériau sonore et de sa manipulation avec *EsquisSons*.

## 9.4 Concevoir de l'intérieur, quelles modalités pour penser le projet ?

Lors des ateliers, nous avons pu constater que la conception, accompagnée ou guidée par l'écoute, provoquait une « immersion » à l'intérieur du modèle. En effet, les concepteurs ne voient plus le projet de l'extérieur (comme incite à le faire le visuel qui permet notamment de manipuler un « objet » depuis une position non immersive). L'architecte se retrouve au contraire "à l'intérieur" de ce qu'il dessine à travers la posture d'écoute qui est nécessairement dépendante du point duquel on

écoute, positionné dans le modèle et donc dans l'espace virtuel. Contrairement aux outils visuels, il n'y a pas la possibilité de "zoomer", ou de "dezoomer" sur le son de ce que l'on dessine.

L'enseignement de l'architecture en studio ou lors d'ateliers révèle que les outils de conception assistée par ordinateur sont particulièrement - voire exclusivement - occulocentrés. La vue est en effet le sens principal utilisé pour concevoir, esquisser, dessiner et valider n'importe quel projet, mais ces outils ont tendance à distancier et objectiver les espaces conçus. Le concepteur travaille alors face à un "objet", mis à distance à travers la barrière de l'écran. Avec l'utilisation d'*EsquisSons*, et la possibilité de mobiliser l'ouïe et l'écoute, l'utilisateur est ramené (re-situé) "à l'intérieur" de son projet. L'outil offre ainsi, au moyen de l'écoute, un fort potentiel immersif que nous pensons pouvoir être un levier important à la prise en compte de l'environnement sensible dans la conception. En effet, il est apparu rapidement lors des différents ateliers que nous avons pu mener que les participants se positionnaient, voire s'immergeaient au sein de leurs projets, ce qui offre la possibilité d'intriquer un ensemble de paramètres qui conditionnent l'espace et la potentialité de ses ambiances. Penser le son dans le projet n'est pas juste une réflexion technique ou une pensée de l'ouïe seule ; mais bien une ouverture sur les ambiances et leurs multiples dimensions dans le projet d'architecture : l'utilisateur, en ayant la possibilité d'"utiliser" ou de manipuler le projet en l'écoutant plutôt qu'en le regardant, se retrouve ainsi "immergé" dans ce qu'il a dessiné et incité à croiser ces différentes dimensions des ambiances<sup>12</sup>.

## 9.5 Un outil des échelles sensibles

L'utilisation d'*EsquisSons* au cours de ces différents ateliers a permis de montrer que le son peut introduire une façon différente de penser les échelles du projet. Trois grandes catégories d'échelle peuvent être décrites et ont émergé des productions des participants aux ateliers, mais l'un des enjeux observés est la "réimplantation" du concepteur dans l'environnement qu'il conçoit. Le terme "dimension" devrait être privilégié ici : il caractérise davantage la "taille" des ambiances que les échelles du projet. Les trois catégories qui ont émergé de ces ateliers sont :

- **La dimension situationnelle** (*globale*) qui concerne la dimension "urbaine" de l'espace<sup>13</sup> : elle se concentre sur l'environnement urbain, les ambiances larges, la distance et la taille de l'environnement, mais aussi sur le fond sonore et les émergences caractéristiques du proche et du lointain. Elle mobilise les articulations des ambiances, et peut faire émerger des notions d'homogénéité, d'hétérogénéité et de singularités dans les ambiances du projet. Pour illustrer cela dans la perspective du projet architectural, on peut dire que cette

12. voir les esquisses sonores de l'édition 2017 de l'Ecole d'Hiver (Section 6.3, page 151)

13. Nous n'avons pas eu l'occasion de travailler avec *EsquisSons* sur des territoires ruraux

dimension apparaît lorsque la conception est faite transversalement entre le quartier, l'îlot, le bâtiment et la façade du bâtiment.

- **La dimension édifiatrice** (*architecturale*) qui soulève plusieurs questions concernant les seuils, les interfaces, la proximité et la distance à une émergence, ou encore le déplacement et le séjour des corps dans l'espace. Il devient alors possible de travailler sur la porosité des ambiances, les singularités acoustiques ou encore les effets de seuils par exemple. Les catégories définies par Grégoire Chelkoff dans son travail "Prototypes sonores architecturaux" (Chelkoff, 2003) et que l'on reprend dans le chapitre 5 peuvent être mobilisées afin de comprendre les potentialités de l'outil *EsquisSons* dans sa dimension "édificatrice". En d'autres termes, l'outil offre la possibilité de tester les configurations fermées, ouvertes, suspendues, projetées, protégées, poreuses, mais aussi les articulations, les limites et les inclusions des espaces sonores entre eux<sup>14</sup> et ainsi de tester et de travailler la composition des espaces architecturaux.
- **La dimension du particulier ou du dispositif** (*locale*). Elle concerne plutôt la perception et l'action des usagers au sein des dispositifs architecturaux (on retrouve notamment les dispositifs de façades, d'accès, de vie ou encore de séparation) situés dans un bâtiment ou dans un emplacement précis au sein d'un espace public (une configuration de mobilier urbain ou un passage). Elle interroge les ambiances de proximité, les relations entre l'intérieur et l'extérieur ainsi que l'ambiance sonore à l'échelle du corps humain en action. Ici encore, l'attention est portée sur les émergences locales, mais aussi sur leur lien avec le contexte (sentiment de protection, d'exposition, de projection, d'être à l'intérieur ou à l'extérieur, etc.). Quel est le rapport entre les espaces intimes et périphériques, par exemple ? Cette dimension questionne ainsi de manière spécifique les relations entre les ambiances locales et leur interaction avec le corps, qui fait ici référence aux gestes et à la posture (orientation de l'écoute, usages, pratiques sociales, etc.).

Cette division des dimensions, facilement partagée dans la pensée du projet, relève en réalité dans l'utilisation d' *EsquisSons* d'un aller-retour permanent. En effet, nous avons pu constater que lorsque les utilisateurs "focalisent" leur travail d'esquisse sonore sur une dimension précise, ils travaillent en réalité en la reliant avec les deux autres. L'outil incite à articuler ces " dimensions " même lorsque l'objectif initial focalise à une échelle précise. La conception à l'échelle urbaine amène à remonter jusqu'à l'échelle du corps<sup>15</sup>, les conceptions architecturale et édifiatrice étendent leur cible et leurs intentions sonores jusqu'à la conception urbaine et aux détails du

---

14. Voir section 5.4.7, «Les configurations de situation», page 141

15. voir "Amers sonores" S.B. Romdhane / L. Contramestre / B. de Baudinière. Winterschool 2017, 6.3.2, page 153,

projet<sup>16</sup>, et les "dispositifs" du projet (mobilier ou façade par exemple) s'étendent aux ancrages ambiants à l'échelle du quartier<sup>17</sup>.

Cette articulation des dimensions nous permet de constater l'apport du son comme "outil de travail" pour manipuler les échelles du sensible. Dans ce contexte *EsquisSons* intervient comme un "moyen" pour les mobiliser dans le projet et ainsi permettre cette pensée spécifique de l'espace et des ses différentes dimensions, associées au corps percevant.

## 9.6 Le son, un médium à la mesure du temps

Dans la mesure où le son est notre "matériau" de travail, alors il est important de prendre en compte un autre paramètre duquel il est fortement dépendant : le temps. En effet, dans une représentation visuelle on se trouve face à une photographie des choses, prise à un instant donné. L'espace représenté est ainsi toujours appréhendé à un moment précis et le plus souvent figé dans le temps malgré de nombreux artifices qui tentent de contourner ce défaut. Pour cette raison, la dimension temporelle de l'espace vécu (l'un des facteurs principaux des ambiances (Augoyard, 1995)) s'avère très difficile à représenter et surtout à manipuler avec outils qui utilisent le visuel comme interface de médiation.

Les ambiances changent au cours du temps, elles se transforment, et notre perception est ainsi basée sur une certaine "relativité" de l'environnement et du temps. Le son, en particulier, est une dimension des ambiances et de notre environnement qui ne peut pas exister sans le temps et c'est pour cette raison qu'il est si compliqué à représenter sans utiliser l'ouïe et l'écoute qui ont besoin de cette composante temporelle pour recevoir l'information dans son ensemble. Le fait d'écouter met le concepteur dans cette perspective du temps, et l'incite à mieux intégrer cette dimension de l'espace dans la conception. Cela conduit à considérer différentes échelles temporelles, comme l'écoute depuis même point pendant cinq minutes ou, comme nous avons pu l'observer plus fréquemment, l'écoute d'un espace par le parcours (il s'agit de l'une des opérations que réalisent les utilisateurs de manière spontanée lors de leur première utilisation d'*EsquisSons*).

Par conséquent, on peut affirmer que l'utilisation d'un outil d'esquisse sonore comme *EsquisSons* permet de mobiliser cette caractéristique très importante et spécifique de l'espace qu'est le temps. On encourage ainsi la prise en compte des problématiques temporelles associées à un objet architectural, que ce soit sur une échelle à long terme (telle que la variabilité saisonnière) ou une échelle à court terme (une journée, ou une expérience donnée). Nous pensons plus précisément aux projets

---

16. voir « Variations en suspension » S. Benhis / Z. Chalaux / J. Di Stefano / F. Kubenka. Winterschool 2017, 6.3.2, page 153,

17. Voir « place aux arbres » S. Robert / A. Sayah. Master 2 workshop Architecture acoustique et espace sonore 2018, 6.4.2, page 167,

réalisés lors des ateliers et ayant pour objet principal la "balade sonore" ou l'expérience sonore en mouvement et qui n'associent pas nécessairement un environnement sonore et un objet spatial, mais qui cherchent plutôt à rendre compte des variabilités en fonction des temporalités des usages ou des matérialités<sup>18</sup>.

Cette "valeur" temporelle de l'esquisse implique également de ne pas pouvoir tout entendre d'un seul coup comme l'on pourrait "tout voir" dans une représentation visuelle. Ici l'approche du projet représenté implique le temps, plus ou moins long, de l'écoute. Et c'est un temps qui permet à la fois une immersion comme on l'a déjà dit, mais aussi paradoxalement une certaine prise de distance avec l'immédiateté et la rapidité de nos pratiques contemporaines. On s'applique et l'on se surprend à attendre pour entendre. Parfois une surprise qui se forme à la croisée de deux ou trois sons, et parfois au contraire une émergence bien précise, prévue dans l'esquisse. C'est précisément cette posture bien spécifique de l'écoute, qui implique le corps et l'esprit dans le temps que *EsquisSons* mobilise, et qui renverse ou réoriente parfois le rapport à ce que l'on dessine et à ce que l'on projette.

## 9.7 La prospective sonore

Ces trois catégories de potentiels que nous avons pu extraire des observations et des expérimentations avec l'outil nous permettent de répondre en partie aux questions posées. Elles montrent clairement un potentiel pour la conception architecturale qui va au-delà du spectre sonore : on observe que le son permet un certain décadage de l'espace conçu, et que ce dernier implique lui-même des questionnements sur les échelles ou sur la temporalité. Cette ouverture que l'on retrouve très rarement dans les outils de conception permet d'orienter voire de prendre en compte dans la conception certaines modalités des ambiances. On ne peut bien sûr pas être catégorique sur ce point puisqu'il aurait fallu pour être exhaustif, et comme nous l'avons souligné, mener systématiquement deux ateliers en parallèle, portant sur les mêmes questions et avec un seul d'entre eux seulement qui utiliserait *EsquisSons*. Nos observations servent ainsi de premières pistes pour d'autres développements et tests dans des contextes diversifiés<sup>19</sup>.

La deuxième question qui était posée, c'est le potentiel des outils numériques à mobiliser les ambiances dans le processus de la conception architecturale, et à faciliter leur prise en compte comme un matériau de projet. Nos observations présentent ici une réponse plus claire : on estime en effet, que ce soit à travers le solfège d'*EsquisSons* précédemment présenté, ou encore à travers les productions des différents ateliers, mais aussi par les retours positifs pendant l'utilisation ou dans les

---

18. Voir « inTERREaction » A. Barkani / S. de Pertat / B. Lambert / U. Ozturk Winterschool 2017, 6.3.2, page 153,

19. Nous avons d'ores et déjà pu mener d'autres temps pédagogiques qui ne figurent pas ici, ou encore des applications opérationnelles qui sont en cours de concrétisation

questionnaires, que l'outil est une réussite sur ce point. Nous avons réussi à intégrer à un outil de modélisation (*utilisé en architecture*) une manière d'écouter ce que l'on dessine avec une certaine simplicité qui n'implique pas d'avoir un projet focalisé sur les questions sonores pour l'utiliser. On pourrait ainsi envisager, comme c'est le cas aujourd'hui pour la lumière naturelle et artificielle, une étape importante de l'esquisse architecturale qui interroge le son dans l'espace projeté. On peut dire qu'*EsquisSons* offre une approche "prospective" du son en incitant/proposant de l'interroger très vite dans le processus, et donc de l'employer comme un matériau de ce dernier. Il nous est difficile d'affirmer que cette expérience est reproductible à d'autres modalités sensibles (notamment celles qui ne peuvent pas être perçues à travers le médium numérique comme l'olfactif ou le thermique par exemple), mais nous pensons qu'il est possible d'imaginer d'autres outils pour croiser, par exemple, des expériences et des perceptions pluri-sensorielles<sup>20</sup>. En effet, on a pu constater que la possibilité dans l'outil d'importer des sons personnels incite certains utilisateurs à produire et/ou enregistrer des sons eux-mêmes, ce qui les met immédiatement dans une posture d'action et d'investigation par rapport au son. Cela implique surtout une prise en compte des ambiances sonores *in situ* (par l'enregistrement sur site) beaucoup plus systématique.

## 9.8 L'outil numérique en question

Le choix de développer un outil numérique pour la prise en compte des ambiances qui implique la manipulation de scripts et d'algorithmes (sous forme visuelle) pour l'utilisateur a également fait germer des questions sur les spécificités de ces outils pour la conception architecturale. Ces derniers ne sont en effet pas neutres dans l'approche qu'ils proposent de la morphogénèse et des évaluations/simulations associées dans le travail de conception spatiale.

### 9.8.1 La programmation pour la conception

Comme on l'a vu, le travail de conception et le processus de projet sont intimement liés aux outils qui sont mobilisés durant son avancement. À la suite de ce travail, nous pourrions alors réfléchir plus largement au potentiel des outils de programmation (visuelle ou textuelle) pour le processus de projet et interroger son impact et ses possibles pour/sur la discipline architecturale. En effet, on constate un glissement de paradigme certain dans les processus de conception avec notamment un retour en force du prototypage et le lien important entre conception et fabrication par le moyen d'outils associés qui fluidifient l'interconnexion entre les étapes. Néanmoins, il nous semble entrevoir une dimension supplémentaire à cette mutation qui tient

---

20. Par la perception directe, par la représentation pour certaines, mais aussi par l'incitation à tester l'*in situ*

notamment dans les modalités d'usage et les schèmes d'utilisation des outils qui s'avèrent différents de ceux associés aux outils de conception assistée par ordinateur plus traditionnels.

En effet, concevoir une genèse morphologique spatiale et ambiante sur la base d'un système, ou d'un processus, ne constitue pas la même approche du projet que de penser par agrégation de formes visuelles (qu'elles soient en 3D ou en 2D). On pourrait ainsi présenter la programmation comme un processus consistant à fabriquer soi-même, pour chaque projet, un outil différent. Celui-ci est alors construit autour de règles de modulations/transmutations des paramètres d'entrées qui vont permettre de générer la ou les données de sorties (la morphologie notamment), on pense alors séries d'étapes, de règles, comme un "algorithme" de composition. À l'inverse, le dessin 3D ou 2D "traditionnel" lui fonctionne par l'assemblage d'éléments dans le modèle qui fabrique ensuite un "tout" fini.

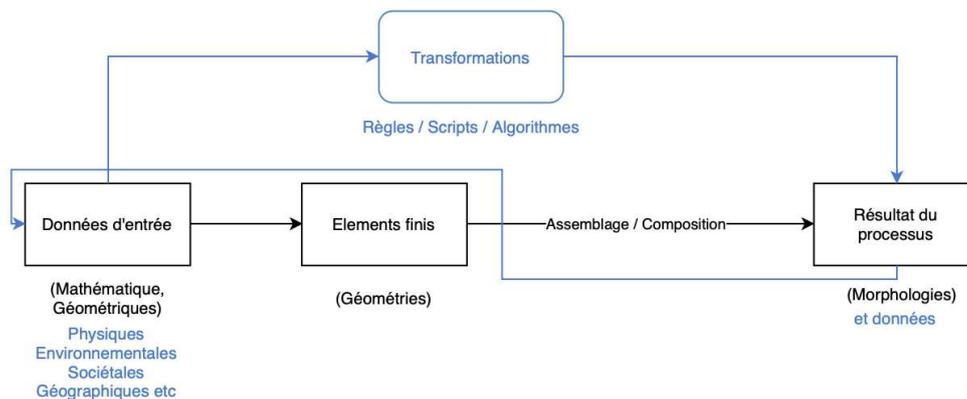


FIGURE 9.2 – Diagramme du processus d'utilisation d'un outil de CAO traditionnel (*en noir*) et d'un outil de programmation pour la conception architecturale (*en bleu*)

, l'outil de programmation demande du temps pour se constituer et pour "faire projet". Il faut d'abord élaborer le script, c'est-à-dire le processus qui va pouvoir jouer les rôles de transformation, d'articulation et/ou de génération sur la base des variables entrantes. Le "faire projet" se construit ainsi en cheminant, et en "déroulant" les règles qui construisent le script. On pourrait parler d'un voyage de conception, qui nous amène d'un point A, en début de projet, vers un point X, que l'on estime être la fin du projet et où tout le parcours entre les deux points aura été créateur de sens pour ce dernier. Les outils d'assemblage comme nous choisissons de les appeler ici ont quant à eux l'avantage (ou l'inconvénient selon les cas) de produire immédiatement un résultat : une simple ligne est déjà un objet "tangible" dans le

modèle numérique, dimensionnée et positionnée ; deux lignes bout à bout formeront un plan ; et deux surfaces formeront une morphologie. Chaque manipulation fabrique - immédiatement - un objet fini.

À l'inverse du voyage, la méthode de l'assemblage que proposent les outils de CAO traditionnels nous fait travailler en permanence avec le résultat "finit" du processus et donc nous éloigne de la notion de "projet", ce jet en avant, jamais terminé et auto-alimenté par ses propres avancements.

Le "voyage" de la conception que permettent les outils de programmation remet en perspective l'immédiateté produite par les outils d'assemblage ; on imagine ainsi qu'il pourrait aider à sa manière à réimporter le vécu et le parcours du concepteur là où la réponse immédiate fabrique un retour "de surface" qui manque peut-être parfois d'épaisseur face aux enjeux multiples qu'implique la conception des espaces vécus et des environnements construits.

La démarche d'un processus numérique nécessite également une approche d'investigation face au fonctionnement de l'outil, des possibles et des limites qu'il implique et que l'on devra peut-être contourner. De cette façon, faire l'effort de plonger dans leur fonctionnement diminue l'effet boîte noire des objets techniques qui nous entourent aujourd'hui et permet peut-être d'ouvrir le regard sur le fonctionnement de ces derniers. En cela, l'architecte comme concepteur, mais aussi comme citoyen retrouverait un levier pour s'emparer de ces outils numériques et non les "subir" afin de dépasser les limites de leur champ initial, qui n'est pas toujours adapté au champ du projet<sup>21</sup>

### 9.8.2 L'outil de conception assisté(e)

L'outil de programmation correspondrait alors plutôt à l'organisation d'une suite d'opérations qui sont alimentées par des données d'entrées différentes ou variables. Sur la même base, on peut ainsi générer différents résultats et donc parler d'une logique "processuelle" de projet. Cette méthode n'aboutit pas immédiatement à un résultat, et dans le même registre que certains outils manuels de dessin ou de fabrication à échelle 1 Un des termes que le développement d'un outil pour l'architecture a remis en perspective, c'est le terme "assistée" de "conception assistée par ordinateur" qui apparaît n'avoir plus beaucoup de sens lorsque l'on constate - avec les outils de programmation et surtout ce que l'on a pu observer lors du développement et de l'utilisation d'*EsquisSons* - une interrelation entre les outils et l'acte même de concevoir. La conception n'est plus assistée par l'ordinateur, mais se trouve alors construite par, et constructrice de, l'outil numérique. Concevoir implique ainsi la production de nouveaux outils, généralistes ou spécifiques, qui se retrouvent de

---

21. Cette question serait notamment à développer en la mettant en parallèle des enjeux de citoyenneté que les mouvements du "Do It Yourself" ou encore du "Hacking Ethique" ont mis en avant. (Mann, 2014)

fait, en plus d'être là pour "assister" le concepteur spatial, eux-mêmes assistés par ce dernier. Lorsque le concepteur élabore un processus de morphogénèse associé à différents variants et invariants qui proviennent des contraintes et des enjeux du projet, il fabrique un outil "sur mesure" qui s'est construit par la conjonction des outils mobilisés et des choix de l'utilisateur.

Ainsi, mêmes les outils "artefacts", pensés pour "assister" peuvent être détournés, couplés, réorientés par les utilisateurs pour en tirer de nouvelles fonctions/capacités, mais aussi de fait des nouveaux schèmes d'utilisation et donc devenir des instruments, au service du projet. On renverse alors le sens d'un outil de conception assistée qui deviendrait un outil assisté de conception.

## Ouverture(s)

Beaucoup de nouvelles problématiques ont pu s'ouvrir avec ce travail qui mobilise une grande diversité de champs de recherche et tente en partie de les croiser avec comme clef de voute la notion d'ambiance. Nous faisons le choix de présenter en ouverture un regard plus "fondamental" sur la discipline architecturale en essayant de montrer comment ce croisement peut justement être mis à profit dans le futur.

### Architecture et outils

Comme le notent Mackey et Sadeghipour, un grand nombre de nos bâtiments "ordinaires" ressemblent de plus en plus à des *"collections compliquées de systèmes séparés - structure, enveloppe, climatisation, protection contre les incendies, électricité, mobilier intérieur, etc."* (Mackey & Sadeghipour Roudsari, 2018). Ce découpage, qui par ailleurs correspond à la dynamique logicielle de certains outils de BIM, ne permet pas de mettre à profit des synergies entre les différents éléments, voire pire, peut conduire parfois à des incohérences entre les différents éléments d'un même système qui court-circuitent leurs qualités entre eux (*un travail sur l'acoustique qui va impacter l'éclairage, ou encore l'économie sur un dispositif qui va engendrer une dépense plus importante à côté*). Ainsi, nous pensons qu'il est nécessaire que l'architecte s'empare des outils numériques pour arriver à des fins qui sont autres que la rentabilité et la juxtaposition des systèmes techniques, mais bien à une cohérence et à une radicalité des édifices et donc des espaces à vivres. La proposition de Mackey et Sadeghipour (*Ladybug Tools*) de travailler avec des boîtes à outils pouvant s'articuler au projet plutôt qu'avec des outils déconnectés nous paraît alors une piste pertinente pour aider et inciter le concepteur à une maîtrise et à une prise en main de ses outils de travail au-delà d'un système "tout en un" ou d'un éclatement déconnecté du processus de projet. On envisage ce point comme un vrai enjeu de discipline auquel les outils ouverts et reliés entre eux peuvent apporter une partie de la réponse. Il s'agit alors de modalités de travail et de prise en main, voire de détournement de certains outils, afin de conserver une cohérence des espaces à vivre qui ne peuvent se résumer à des systèmes techniques.

## Écouter l'architecture

Pouvoir renforcer avec *EsquisSons* une pensée des environnements sensibles en les impliquant fortement dans la conception nous guide vers une extrapolation à des enjeux de société plus fondamentaux. En effet, face à l'oculocentrisme dans la conception, mais aussi à une société dans son ensemble basée sur le regard et sur l'image<sup>22</sup>, proposer un angle d'approche différent permet comme nous l'avons dit de "décadrer" la conception et donc, pourquoi pas, de transformer les points de focalisations du projet d'espace.

L'hégémonie de l'image et l'accélération des modes de vie qui s'y associe sont devenues les conditions *sine qua non* de la réussite. Néanmoins, parallèlement à ce monde en mouvement, les questions de long terme sont de plus en plus négligées, créant des "vulnérabilités" sociales, environnementales et spatiales. La piste des ambiances et plus particulièrement du sonore peut apparaître comme une prise à "l'intersection de ces enjeux". L'écoute de l'environnement, un geste qui peut sembler simple et anodin, devient ainsi un outil puissant pour considérer les espaces et les lieux de vie à des échelles et des temporalités difficiles à atteindre avec le visuel.

Le rapport différent "par l'écoute" ou l'injection de nouveaux paramètres comme certaines temporalités et certaines échelles du sensible apparaît pour nous comme une possible lucarne de respiration face à l'obscurcissement des horizons sociaux et environnementaux. On pense par exemple à la possibilité d'une prise en compte du vivant dans un spectre plus large que l'humain ou encore à un décadage impliquant une attention particulière pour les vulnérabilités dans les usages et les pratiques de l'espace. Ce point a notamment été la piste principale de réflexion de la dernière école d'hiver 2021 où nous avons pu entrevoir une véritable dynamique autour du sonore sur ces questions précises (Marchal, Depertat, Rémy, & Paxinou, 2021). Il nous semble donc nécessaire de pousser ces réflexions et de les intégrer plus fortement à la pensée architecturale contemporaine.

Par l'attention particulière au monde que cela propose, l'écoute prend un sens particulier car elle signifie aussi continuer à investiguer et à mobiliser les sens comme une focale majeure de l'espace. On fait d'ailleurs ici la projection qu'il serait possible d'exporter cette posture à d'autres modalités sensibles pour favoriser la prise en compte des phénomènes -spatiaux, sociaux et environnementaux- dans des conditions ou des perspectives différentes.

---

22. Voir le triomphe du narcissisme développé par Christopher Lasch qui présente le détachement impossible d'un sujet et de son image - et donc du regard de l'autre (Lasch, Michéa, & Landa, 2008) cité dans (*Au-delà du narcissisme, l'objet regard*, 2016)

---

L'écoute nécessite la prise en compte du temps, qu'il soit très long ou très court, mais aussi l'articulation des échelles et des dimensions de l'environnement, du très proche au très lointain, de l'infra au méta, et ce rapport pluriel au monde, mais aussi ce potentiel immersif - « à vivre » - permet d'extrapoler une posture auditive à une posture scientifique et méthodologique plus générale qui serait source d'investigations, et de propositions sur les ambiances architecturales et urbaines.



# Bibliographie

## Références

- Adler, P. A., & Adler, P. (1987). *Membership Roles in Field Research*. SAGE.
- Aish, R. (1986). Three-dimensional Input and Visualization. In *Computer-Aided Architectural Design Futures [CAAD Futures Conference Proceedings / ISBN 0-408-05300-3] Delft (The Netherlands), 18-19 September 1985, pp. 68-84*. CUMINCAD.
- Akrich, M. (1993). Les formes de la médiation technique. *Réseaux*(4), 87–98.
- Al-Qattan, E. (2016). Developing a Tangible User Interface for Parametric and BIM Applications Using Physical Computing Systems. In *Herneoja, Aulikki; Toni Österlund and Piia Markkanen (eds.), Complexity & Simplicity - Proceedings of the 34th eCAADe Conference - Volume 2, University of Oulu, Oulu, Finland, 22-26 August 2016, pp. 621-630*. CUMINCAD.
- Amphoux, P. (1990). Vers une théorie des trois comforts. *Annuaire 90*, pp. 27.
- Amphoux, P. (2003). L'Identite sonore urbaine. In G. M. . K. Weiss (ed.) (Ed.), *Espaces de vie : Aspects de la relation homme- environnement*. Armand Colin.
- Amphoux, P. (2017). *Le temps des pionniers : Jean-François Augoyard et le Cresson*.
- Anzieu, D. (1976). L'enveloppe sonore du Soi. *Nouvelle Revue de Psychanalyse*(n° 13), pp. 161-180.
- Arborio, A.-M., Fournier, P., & de Singly, F. (2010). *L'observation directe*. Paris : Armand Colin.
- Au-delà du narcissisme, l'objet regard*. (2016, septembre).
- Augoyard, J.-F. (1979). *Pas à pas*. Paris : Editions du Seuil.
- Augoyard, J.-F. (1987, février). *Répertoire des effets sonores* (Research Report N° 0508/88). Centre de recherche sur l'espace sonore (CRESSON); Environnement urbain, technologie de l'environnement, pratiques sociales (EUTERPES); Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble; Bureau de la recherche architecturale (BRA).
- Augoyard, J.-F. (1995). L'environnement sensible et les ambiances architecturales. *L'espace géographique*(4), 302–318.
- Augoyard, J.-F. (2001). *Entretien sur écoute réactivée*.

- Augoyard, J.-F. (2004). Vers une esthétique des ambiances. In *Ambiances en débats* (p. pp.17-30). A la Croisée.
- Augoyard, J.-F. (2007). A comme Ambiance (s). *Cahiers de la recherche architecturale et urbaine*(20), 33–37.
- Augoyard, J.-F., & Liochon, P. (1978). *Les pratiques d’habiter à travers les phénomènes sonores*. Grenoble : CRESSON.
- Augoyard, J.-F., Sevin, J.-C., & Voilmy, D. (2009, décembre). Une pensée de la modalité. Entretien avec Jean-François Augoyard. *ethnographiques.org*(19), 1.
- Augoyard, J.-F., & Torgue, H. (Eds.). (1995). *A l’écoute de l’environnement*. Marseille : Editions Parenthèses.
- Augoyard, J.-F., Torgue, H., McCartney, A. S. J., & Paquette, D. (Eds.). (2009). *Sonic experience : A guide to everyday sounds* (Reprinted éd.). Montreal : McGill-Queen’s Univ. Press.
- Ayed, N. H., & Dorta, T. (2021, juin). L’agentivité des systèmes immersifs de réalité virtuelle en situation de codesign : étude comparative entre le Hyve-3D et un environnement traditionnel. *Sciences du Design*, 13(1), 27–41.
- Bass, H. E., Sutherland, L. C., & Zuckerwar, A. J. (1990, octobre). Atmospheric absorption of sound : Update.
- Bayer, F. (1987). *De Schönberg à Cage : Essai sur la notion d’espace sonore dans la musique contemporaine*. Paris : Ed. Klincksieck.
- Bergson, H., & Worms, F. (2013). *L’évolution créatrice* (12. éd éd.). Paris : PUF.
- Blanchet, A. (2016). *Les techniques d’enquête en sciences sociales : observer, interviewer, questionner*. Paris : Dunod.
- Boutinet, J.-P. (1990). *Anthropologie du projet*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Breux, S., Collin, J.-P., & Gingras, C. (2014). *Représenter l’urbain : apports et méthodes*. Laval, France, Canada : Presses de l’Université Laval.
- Bril, B. (2019, juin). Comment aborder la question du geste technique pour en comprendre l’expertise et l’apprentissage? *Techniques & culture*(71), 78–91. doi: 10.4000/tc.11373
- Bulfone, C. (2016). *Les protocoles UDP et TCP* [Course].
- Burluraux, O., Claustres, A., Coccia, E., Decron, B., & Collectif. (2019). *Hans Hartung : La fabrique du geste* (Illustrated édition éd.). Paris : Paris Musées.
- Cannaerts, C. (2016). Coding as Creative Practice. In *Herneoja, Aulikki ; Toni Österlund and Piia Markkanen (eds.), Complexity & Simplicity - Proceedings of the 34th eCAADe Conference - Volume 1, University of Oulu, Oulu, Finland, 22-26 August 2016, pp. 397-404*. CUMINCAD.
- Cérézuelle, D. (2019, juillet). Jacques Ellul, penseur du système technicien. *Futuribles*, N° 429(2), 77–88.
- Chaillou, S. (2020). ArchiGAN : Artificial Intelligence x Architecture. In P. F. Yuan, M. Xie, N. Leach, J. Yao, & X. Wang (Eds.), *Architectural Intelligence : Se-*

- lected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication (CDRF 2019)* (pp. 117–127). Singapore : Springer. doi: 10.1007/978-981-15-6568-7\_8
- Chelkoff, G. (2003). *Prototypes sonores architecturaux. Méthodologie pour un catalogue raisonné et des expérimentations constructives*. Grenoble : CRESSON.
- Chelkoff, G. (2009). The poietics of architectural and urban ambiances : Making use of experience.
- Chelkoff, G., Thibaud, J.-P., Bardyn, J.-L., & Leroux, M. (1988). *Entendre les espaces publics*. Grenoble : CRESSON.
- CNRTL. (s. d.). *MACHINE : Définition de MACHINE*. <https://www.cnrtl.fr/definition/machine>.
- Cotté, B., Blanc-Benon, P., Cremezi-Charle, C., & Poisson, F. (2007, août). Modélisation de la propagation acoustique à moyenne distance du bruit des trains à grande vitesse..
- Daro, C. (2013). *Avant-gardes sonores en architecture*. Dijon : Les Presses du réel.
- de Boissieu, A. (2013). *Modélisation paramétrique en conception architecturale : Caractérisation des opérations cognitives de conception pour une pédagogie* (Thèse de doctorat non publiée). Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris la Villette, Paris, France.
- Declercq, N. F., & Dekeyser, C. S. A. (2007, avril). Acoustic diffraction effects at the Hellenistic amphitheater of Epidaurus : Seat rows responsible for the marvelous acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(4), 2011–2022. doi: 10.1121/1.2709842
- De Landa, M. (2011). *Philosophy and simulation : The emergence of synthetic reason*. London ; New York, NY : Continuum.
- De Villanova, R., & Duarte, C. R. (2012). *Nouveaux regards sur l'habiter. Outils et méthodes, de l'architecture aux sciences sociales*. Le Manuscrit.
- du texte Delorme, P. -. A. (1567). *Le premier tome de l'architecture de Philibert de L'Orme conseiller et aumosnier ordinaire du Roy, & abbé de S. Serge lez Angiers*.
- Ellul, J. (2008). *La technique, ou, L'enjeu du siècle* ([2e éd. rev.] édition éd.). Paris : Economica.
- Ellul, J., & Porquet, J.-L. (2012). *Le Système technicien*. Paris : Recherche Midi.
- Fialho Teixeira, F. (2014). *Function of the Bio : Computational Biology for Evolutionary Spatial Systems* (Thèse de doctorat non publiée). Istanbul Technical University / Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul, Turquie.
- Geisler, E., & Manola, T. (2015). Quand le sonore bouscule les métiers de la conception de l'espace. In C. Guiu, G. Faburel, M.-M. Mervant-Roux, H. Torgue, & P. Woloszyn (Eds.), *Soundspace : Espaces, expériences et politiques du sonore*. Presses universitaires de Rennes.
- Glynn, R., & Sheil, B. (2011). *Fabricate : Making Digital Architecture*. Toronto :

- Riverside Architectural Press.
- Gold, R. L. (1958, mars). Roles in Sociological Field Observations. *Social Forces*, 36(3), 217–223. doi: 10.2307/2573808
- Grasl, T. C. F. a. C. K. (2006). Easy access classes for three-dimensional generative design - Using a collaborative environment for e-learning. In *Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9541183-5-9] Volos (Greece) 6-9 September 2006*, pp. 884-889. CUMINCAD.
- Grosjean, M., & Thibaud, J.-P. (2001). *L'espace urbain en méthodes*. Marseille : Parenthèses.
- Heidegger, M. (1980). *Essais et Conférences* (Tel éd.). Paris : Gallimard.
- Jauß, H. R. (2007). *Petite apologie de l'expérience esthétique*. Paris : Ed. Allia.
- Journées SCAN (Séminaire de Conception Architecturale Numérique) : Rôle de l'esquisse architecturale dans le monde numérique*. (2005). Charenton (94) : Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Val-de-Seine.
- Kant, I., Barni, J.-R., Archambault, P., & Rousset, B. (1999). *Critique de la raison pure*. Paris : GF Flammarion.
- Kleiner, M., Dalenbäck, B.-I., & Svensson, P. (1993, novembre). Auralization-An Overview. *Journal of the Audio Engineering Society*, 41(11), 861–875.
- Knudstrup, M.-A. (2004). Integrated Design Process in Problem-Based Learning : Integrated Design Process in PBL. *The Aalborg PBL Model : Progress, Diversity and Challenges*, 221–234.
- Lallemand, I. (2020, décembre). Conception et matérialité dans la production numérique contemporaine : perspective historique et pratiques émergentes. *Sciences du Design*, 12(2), 64–77.
- Laplantine, F., & de Singly, F. (2005). *La description ethnographique*. Paris : Armand Colin.
- Lasch, C., Michéa, J.-C., & Landa, M. (2008). *La culture du narcissisme*. Paris : FLAMMARION.
- Lassus, M.-P. (2019). *Le non-savoir : Paradigme de connaissance*. Louvain-La-Neuve : Editions Modulaires Européennes InterCommunication SPRL.
- Lebahar, J.-C. (2007). *La conception en design industriel et en architecture : désir, pertinence, coopération et cognition*. Paris : Hermes Science.
- Lee, J., & Nik-Bakht, M. (2021). BIM-based Simulation for Analysis of Reverberation Time. In *Building Simulation 2019* (pp. 63–67). Rome, Italy. doi: 10.26868/25222708.2019.211379
- Lestideau, V. (2003). *Modèles et environnement pour configurer et déployer des systèmes logiciels* (Thèse de doctorat non publiée). Université de Savoie.
- Liénard, P. (2001). *Petite histoire de l'acoustique : bruits, sons et musique*. Paris : Hermès Science Publ.
- Littre, E. (2013). *Dictionnaire de la langue Française*. S.l. : Hachette - BNF.
- Mackey, C., & Sadeghipour Roudsari, M. (2018, septembre). The Tool(s) Versus The Toolkit. In (pp. 93–101). doi: 10.1007/978-981-10-6611-5\_9

- Mann, S. (2014). Maktivism : Authentic making for technology in the service of humanity. *DIY Citizenship : Critical Making and Social Media*, 29–52.
- Marchal, T. (2013). *Habitat en hauteur et espace sonore* (G. Chelkoff, Ed.). Grenoble : Ecole Nationale Supérieure d'Architecture.
- Marchal, T., Depertat, S., Rémy, N., & Paxinou, E. (2021). Vulnerability and listening. In *Winter School 2021. Vulnerabilities and sounds, janvier 2021*. Grenoble (e-conference) : CRESSON, ENSAG, B-AIR Art Infinity Radio » project supported by the Creative Europe Culture Program (EACEA).
- Marchal, T., Remy, N., Chelkoff, G., Bardyn, J.-L., Gamal Said, N., & pirhosseinloo, H. (2016). Esquis'sons! Sound Sketch : A Parametric Tool to Design Sustainable Soundscapes - How to apprehend environmental complexity in a simple tool for architectural design. In *Herneoja, Aulikki ; Toni Österlund and Piia Markkanen (eds.), Complexity & Simplicity - Proceedings of the 34th eCAADe Conference - Volume 2, University of Oulu, Oulu, Finland, 22-26 August 2016, pp. 275-284*.
- McCormack, J., Dorin, A., & Innocent, T. (2004, novembre). Generative Design : A Paradigm for Design Research. *DRS Biennial Conference Series*.
- Michel, A. P. (2021, janvier). La carrière de Pierre Bézier chez Renault (1933-1975). *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*(13), 213–242. doi: 10.4000/artefact.6711
- Migayrou, F. (2003). *Architectures non standard : exposition présentée au Centre Pompidou, Galerie Sud, 10 décembre 2003-1er mars 2004* (Centre national d'art et de culture Georges Pompidou, Ed.). Paris, France : Centre Pompidou.
- Migayrou, F., Lenglois, C., Cyriaque, E., Andreatta, M., Zeitoun, O., Lasvignes, S., ... Centre national d'art et de culture Georges Pompidou (2018). *Coder le monde : mutations, créations* : (F. Migayrou, Ed.). Orléans, France : Éditions Hyx.
- Minier, P., & Billaudeau, V. (2014, décembre). Design & Projet en architecture : dialectique sur l'esquisse. *Communication et organisation*(46), 57–70. doi: 10.4000/communicationorganisation.4729
- Morfaux, L.-M., & Lefranc, J. (2011). *Nouveau vocabulaire de la philosophie et des sciences humaines*. Paris : Armand Colin.
- Myers, B., Hudson, S. E., & Pausch, R. (2000, mars). Past, present, and future of user interface software tools. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(1), 3–28. doi: 10.1145/344949.344959
- Nietzsche, F. (1989). *La Naissance de la tragédie*. Gallimard.
- Oosterhuis, K. (2004). File to Factory and Real Time Behavior in Architecture. In *Fabrication : Examining the Digital Practice of Architecture [Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture and the 2004 Conference of the AIA Technology in Architectural Practice Knowledge Community / ISBN 0-9696665-2-7] Cambridge (Ontario) 8-14 November, 2004, 294-305*. CUMINCAD.

- Pallasmaa, J., & Schelstraete, É. (2013). *La main qui pense : pour une architecture sensible*. Arles : Actes Sud.
- Parigi, D. (2017). Parametric Room Acoustic workflows - Review and future perspectives. In Fioravanti, A, Cursi, S, Elahmar, S, Gargaro, S, Loffreda, G, Novembri, G, Trento, A (eds.), *ShoCK! - Sharing Computational Knowledge! - Proceedings of the 35th eCAADe Conference - Volume 2, Sapienza University of Rome, Rome, Italy, 20-22 September 2017*, pp. 603-610. CUMINCAD.
- Picaud, J., & FORTIN, N. (2012, avril). SPPS, a particle-tracing numerical code for indoor and outdoor sound propagation prediction. In S. F. d'Acoustique (Ed.), *Acoustics 2012*. Nantes, France.
- Picon, A. (2004). Architecture and the virtual : Towards a new materiality? *Praxis*(6), 114–121.
- Picon, A. (2010). *Culture numérique et architecture - Une Introduction*. Basel : Birkhauser Fr.
- Pillon, T., & Vigarelo, G. (2007). Présentation. *Communications*, 81(1), 5–8. doi: 10.3406/comm.2007.2454
- Plihon, F. (2016). *Architectures Numériques et Résurgence Baroque : bernard Cache, Greg Lynn et le Pli de Deleuze* (Thèse de doctorat non publiée). Université Charles de Gaulle - Lille III.
- Postel, J. (1980). *User Datagram Protocol*. <https://tools.ietf.org/html/rfc768>.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Ragon, M. (2013). *Les Ateliers de Soulages*. Albin Michel.
- Rahm, P. (2015). *Constructed Atmospheres* (M. Scuderi, Ed.). postmedia books.
- Rahm, P. (2017). *Form Follows Climate*. Bramea editore.
- Regnault, C., & Hugonnet, C. (2016, septembre). L'écoute anticipatrice. L'expérience comme accès aux atmosphères de demain. In N. R. d. . . N. Tixier (dir.) (Ed.), *Ambiances, tomorrow. Proceedings of 3rd International Congress on Ambiances. Septembre 2016, Volos, Greece* (Vol. vol. 1, pp. p. 521 – 527). Volos, Greece : International Network Ambiances.
- Robert, L. (DL 2015, cop. 2015). *Le Petit Robert : dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française* (J. Rey-Debove, A. Rey, & P. Robert, Eds.). Paris, France : Le Robert, DL 2015.
- Rowe, E. J., & Rowe, W. G. (1976, mars). Stimulus suffix effects with speech and nonspeech sounds. *Memory & Cognition*, 4(2), 128–131. doi: 10.3758/BF03213153
- Roy, J.-P. A. P., & Blin-Lacroix, J.-L. A. P. (2011). *Le dictionnaire professionnel du BTP*. Paris, France : Eyrolles.
- Rozier, E. (2010, novembre). John Dewey, une pédagogie de l'expérience. *La lettre de l'enfance et de l'adolescence*, 80–81(2), 23–30.
- Said, N. G. (2014). *Vers une écologie sensible des rues du Caire : Le palimpseste des ambiances d'une ville en transition* (These de Doctorat). Grenoble.

- Schaeffer, P. (1998). *Solfège de l'objet sonore* (Institut National de l'Audiovisuel éd.). Paris.
- Schaeffer, P., & de la recherche, O. d. r.-t. f. S. (1966). *Traité des objets musicaux : Essai interdisciplines*. Paris : Editions du Seuil.
- Schaeffer-Forrer, C., Chandler, T., Laperrousaz, E.-M., Duchesne-Guillemain, M., & Parrot, A. (1964). Nouvelles Archéologiques. *Syria. Archéologie, Art et histoire*, 41(1), 179–185.
- Schafer, R. M., & Gleize, S. (1979). *Le paysage sonore*. Paris : J.C. Lattes.
- Schon, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner : How Professionals Think In Action*. Basic Books.
- Schumacher, P. (2009, juillet). Parametricism : A New Global Style for Architecture and Urban Design. *Architectural Design*, 79, 14–23. doi: 10.1002/ad.912
- Simondon, G. (2012). *Du mode d'existence des objets techniques* (Nouv. éd. rev. et corr éd.). Paris : Aubier.
- Sowe, S. K., Stamelos, I., & Angelis, L. (2008, mars). Understanding knowledge sharing activities in free/open source software projects : An empirical study. *Journal of Systems and Software*, 81(3), 431–446. doi: 10.1016/j.jss.2007.03.086
- Steinfeld, K. (2019). GAN Loci. In *ACADIA 19 :UBIQUITY AND AUTONOMY [Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA) ISBN 978-0-578-59179-7] (The University of Texas at Austin School of Architecture, Austin, Texas 21-26 October, 2019) pp. 392-403*. CUMINCAD.
- Sterne, J. (Ed.). (2012). *The sound studies reader*. New York : Routledge.
- Susini, P., & Guelton, P. (2006). Effets de mémoire auditive liés à la perception d'une séquence de sons environnementaux. In *Congrès Français d'Acoustique (CFA)* (p. -). Tours, France.
- Thibaud, J.-P. (2018, février). Vers une écologie ambiante de l'urbain. *Environnement Urbain / Urban Environment*(Volume 13).
- Tisseron, S. (2018). *Petit traité de cyberpsychologie : pour ne pas prendre les robots pour des messies et l'IA pour une lanterne*.
- Tixier, N. (2016). Le transect urbain. Pour une écriture corrélée des ambiances et de l'environnement. In S. B. . N. Blanc (Ed.), *écologies urbaines. Sur le terrain* (p. pp. 130-148). Economica-Anthropos.
- Torgue, H. (2014). Posture d'écoute et attention au monde sonore. In Y. Cïtton (Ed.), *L'Économie de l'attention. Nouvel horizon du capitalisme ?* (p. pp. 229-239). La Découverte.
- Truchot, P. (2006, avril). Une approche bergsonienne de la spatialité en musique. *Astérion. Philosophie, histoire des idées, pensée politique*(4). doi: 10.4000/asterion.573
- Tüscher, A. (2005, décembre). L'esquisse : Représentation conceptuelle ou non ? In *Journées SCAN (Séminaire de Conception Architecturale Numérique) : Rôle*

*de l'esquisse architecturale dans le monde numérique.*

- Universalis, E. (2015). *Dictionnaire des Musiques : (Les Dictionnaires d'Universalis)*. Encyclopaedia Universalis.
- van der Harten, A. W., & Goodman, C. (2019, octobre). Novel applications of retooled open-source acoustic simulation algorithms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(4), 2801–2801. doi: 10.1121/1.5136701
- van Bruggen, C. (1998). *Frank O. Gehry : Guggenheim Museum Bilbao*. New York, NY : Guggenheim Museum Publications.
- Vial, S., & Lévy, P. (2013). *L'être et l'écran comment le numérique change la perception* (Thèse de doctorat non publiée). Presses universitaires de France, Paris.
- Xun, Y. (2016, juin). Une ancienne rue commerciale chinoise dans la « ville diffuse » d'aujourd'hui : le projet « Hanzhengjie » à Wuhan. *Sciences du Design*, 3(1), 50–58.
- Yuan, P. F., Xie, M., Leach, N., Yao, J., & Wang, X. (2020). *Architectural Intelligence : Selected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication* (1st ed. 2020 édition éd.). Springer.





# Table des illustrations

2.1	L'objet technique, triple interface . . . . .	37
2.2	Captures d'écrans du logiciel Digital Project dans son état actuel <i>source : <a href="http://www.digitalproject3d.com">www.digitalproject3d.com</a>, Copyright Digital Project, 2015 ; tous droits réservés . . . . .</i>	39
2.3	Le Golden Fish à Barcelone (Frank Gehry) est le premier projet à avoir utilisé L'outil Digital Project, <i>source : <a href="http://wikimedia.org">wikimedia.org</a>, photo by Ad Meskens, Creative Commons by-sa . . . . .</i>	41
2.4	Illustrations des interactions sujet/objet/instrument d'après Rabardel	48
2.5	Diagramme itératif Sujet / Artefact / Environnement . . . . .	50
2.6	Diagramme d'illustration d'un modèle adaptatif de calcul . . . . .	64
2.7	Esquisse à main levée, Frank Gehry, Projet pour la fondation Louis Vuitton, <i>Source : <a href="http://fondationlouisvuitton.fr">fondationlouisvuitton.fr</a> ; tous droits réservés . . . . .</i>	67
2.8	Exemples de suites logiques dans des langages de programmation dif- férents. Langage écrit (Python) et langage visuel (Grasshopper3D) . .	68
2.9	Diagramme de notre volonté : une itération basée sur un retour auditif et l'action "écouter" comme base pour modifier le processus . . . . .	70
2.10	Diagramme simplifié illustrant le processus intégré de conception de Knudstrup . . . . .	70
3.1	Illustration de 3 esquisses photo-réalistes obtenues avec GAN Loci pour 3 contextes différents ; image by Kyle Steinfiel ; source : <a href="http://blah.ksteinfe.com/">http://- blah.ksteinfe.com/</a> . . . . .	82
3.2	Illustration en ligne des possibilités de variations sur un modèle simple avec Ladybug tools (capture d'écran) <a href="https://tt-acm.github.io/DesignExplorer/">https://tt-acm.github.io/DesignExplorer/</a>	85
3.3	Exemple de l'évaluation du moment de flexion d'un maillage 3D avec Karamba : Extrait des exemples 3D fournis par l'université de Virgi- nie ; image : <a href="http://Karamba3D.com">Karamba3D.com</a> . . . . .	87
3.4	Exemple d'un calcul de temps de réverbération dans une morphologie 3D avec Pachyderm . . . . .	88

- 5.1 Illustration des « composants » et « liens » dans grasshopper (source : rhino3d.com ; tous droits réservés) . . . . . 104
- 5.2 Illustration de l'interface de programmation visuelle de MAX8 (source : cycling74.com) . . . . . 105
- 5.3 Exemple d'un des diagrammes de fonctionnement proposant des pistes d'amélioration lors des premières phase de développement d'*EsquisSons* 107
- 5.4 Illustration des trois interfaces déployées (de gauche à droite : Rhinoceros, Grasshopper, Application EsquisSons) . . . . . 108
- 5.5 propagations de sources de tailles différentes . . . . . 109
- 5.6 Croquis d'intention pour l'outil EsquisSons lors des premières phases de développement . . . . . 110
- 5.7 Exemples de morphologies réalisées avec le système dit des « blocs » dans *EsquisSons* . . . . . 112
- 5.8 Déclaration des sources sonores cardinales via l'application EsquisSons 113
- 5.9 Les définitions créées sur Grasshopper sont sauvegardées au format '.gha'. Un script peut donc être résumé à un « fichier » grasshopper qui permet à partir d'une série de paramètres A de générer une morphologie ou un processus B. Il englobe les composants mais aussi les connexions entre eux . . . . . 117
- 5.10 Captures d'écran des premières versions "scripts" de l'outil, construites directement dans l'interface de programmation visuelle de grasshopper (2015). À gauche en version utilisateur, à droite avec les connexions visibles entre chaque éléments . . . . . 118
- 5.11 Capture d'écran d'EsquisSons intégré sous forme de plug-in dans la barre d'outil de grasshopper . . . . . 119
- 5.12 Diagramme simplifié des manipulations possibles selon les trois logiciels mobilisés et les versions de l'outil EsquisSons . . . . . 120
- 5.13 Forme actuelle de l'outil EsquisSons en application (1 point d'écoute, 3 sources, 2 environnements construits, le moteur de calcul et une visualisation des réflexions . . . . . 122
- 5.14 illustration des mesures des distances (Grasshopper) et des modulateurs de gain et de fréquence (MAX/MSP) [non visibles dans l'interface] 124
- 5.15 Illustration des intersections et des potentiomètres associés dans MAX [non visibles dans l'interface] . . . . . 125
- 5.16 Illustration du principe de prise en compte de volumes et des surfaces utiles aux calculs selon la position des sources par rapport à l'écouter et aux espaces modélisés . . . . . 127

5.17	Illustration des calculs de reverberation grasshopper puis dans MAX/MSP [non visibles dans l'interface] . . . . .	128
5.18	Exemple d'une visualisation des premières, deuxièmes et troisièmes réflexions avec <i>EsquisSons</i> . . . . .	130
6.1	Interface initiale d'EsquisSons dans le canva grasshopper - À droite l'exemple des morphologies possibles dans la première version d'EsquisSons ( <i>Décembre 2015</i> ) . . . . .	148
6.2	Série de captures d'écrans tirées des captations vidéos - Ateliers Janvier 2017 . . . . .	152
6.3	"Dynamique du présent, sonorités d'avenir" / Illustration du travail de transformation d'un cœur d'ilot avec <i>EsquisSons</i> . . . . .	155
6.4	«Variation en suspension» / Capture d'écran de l'esquisse réalisée avec EsquisSons, Rhinoceros et Grasshopper : Plan masse et vues perspectives . . . . .	156
6.5	«Interreaction» / Esquisse de projet urbain avec <i>EsquisSons</i> dans Rhino : représentation des morphologies, des sources et de leurs propagations dans l'espace . . . . .	157
6.6	Appréciations globales des participants à l'école d'hiver 2017 sur l'outil EsquisSons . . . . .	161
6.7	Présentation instrumentée de l'outil - <i>photo : juL McOisans</i> . . . . .	165
6.8	"Porte des berges" / Capture d'écran du rendu vidéo : Représentation schématique du dispositif de "porte" proposé pour habiter les deux faces sonores de la place . . . . .	168
6.9	"Morphologies urbaines" / Captures d'écran du rendu vidéo : Plans masses des trois configurations urbaines esquissées . . . . .	169
6.10	"Une Halle à deux faces" / Captures d'écran du rendu vidéo : Représentations perspectives des espaces intérieurs et extérieurs de la halle (en haut); Projection visuelle des premières réflexions dans l'édifice (en bas) . . . . .	171
6.11	"La place aux arbres" / Représentation perspective de la place et des dispositifs d'arbres sonores (en haut à gauche); Plan masse (en haut à droite); Déplacement de l'écoutant dans la scène sonore (en bas) . . . . .	172
6.12	Appréciations globales des participants sur l'outil; Soucis techniques rencontrés et manque de temps ressenti. ( <i>données extraites des questionnaires réalisés à l'issu de l'atelier de master (2017)</i> ) . . . . .	173
6.13	"Creuser et s'étendre" / Croquis d'intentions et modélisation des loggias et terrasses . . . . .	179

6.14	"Se rassembler et s'isoler" / Croquis d'intentions et modélisation des balcons pour l'esquisse sonore . . . . .	180
6.15	"Variation de Garde-corps" / Intentions de projet et représentation des points d'écoute réalisés avec EsquisSons . . . . .	181
6.16	"Espaces tampons" / Plan de situation de l'édifice ; Captures d'écran des différents points d'écoute réalisés avec EsquisSons . . . . .	182
6.17	"Balcons modulés" / Plan de situation ; Axonométrie des sources existantes ; Tests des dispositifs D,A,B et C (de gauche à droite puis de haut en bas) réalisés avec EsquisSons . . . . .	183
6.18	"Des balcons traversants" ( <i>à gauche</i> ) et "Articulations de balcons" ( <i>à droite</i> ) / Vues en axonométrie et en plan des transformations et de la position des sources . . . . .	185
6.19	Appréciations globales des participants sur l'outil ; Soucis techniques rencontrés et manque de temps ressenti. ( <i>données extraites des questionnaires réalisés à l'issue de l'atelier de master (2018)</i> ) . . . . .	186
6.20	Graphique des réponses croisées entre à la question «Comment jugez vous la possibilité d'appréhender le projet architectural par le son ?» et l'intérêt potentiel pour utiliser <i>EsquisSons</i> dans le futur ( <i>données extraites des questionnaires réalisés à l'issue de l'atelier de master (2018)</i> ) . . . . .	187
7.1	Écran partagé d'une étape de validation : son in situ (en haut à gauche) , son de croquis dans EsquisSons (en haut à droite), Définition du modèle dans le module Grasshopper (en bas à droite), Visualisation du modèle dans Rhinocéros 3D (en bas à gauche) . . . .	193
7.2	Présentation des trois points d'écoute réalisés pour la balade d'esquisse sonore - Grenoble - Janvier 2018 . . . . .	194
7.3	Photo d'une écoute pendant le parcours ( <i>à gauche</i> ) et visualisation de l'esquisse : couverture d'une rue commerçante -point 2- ( <i>à droite</i> ) .	197
7.4	Capture d'écran lors de l'utilisation d'EsquisSons dans le quartier de l'Abbaye à Grenoble . . . . .	198
7.5	Vidéo de l'esquisse sonore finale pour le quartier de l'Abbaye, Grenoble - (Capture d'écran Vimeo)(Axonométrie : Bureau Particules) .	199
7.6	Photo de la pièce choisie pour l'installation et plan technique de l'installation dans la salle - Cité de l'architecture et du patrimoine, Paris .	200
7.7	Frise temporelle des scénarios pour l'installation multicanal réalisée avec EsquisSons . . . . .	202

---

8.1	La place de l'expérience dans le continuum conception-fabrication : hypothèse sous la forme d'un diagramme . . . . .	212
9.2	Diagramme du processus d'utilisation d'un outil de CAO traditionnel ( <i>en noir</i> ) et d'un outil de programmation pour la conception archi- tecturale ( <i>en bleu</i> ) . . . . .	221
3	3 situations d'écoutes pour illustrer l'effet de réverbération . . . . .	284
4	2 positions d'écoutes pour illustrer l'effet de coupure dans une confi- guration urbaine . . . . .	285
5	2 morphologies différentes qui par l'ouverture sur une source plus forte permettent d'illustrer l'effet de masque . . . . .	286
6	3 positions d'une source pour illustrer l'effet de filtrage . . . . .	287
7	Différentes sources et une configurations spatiale ouverte et réverbé- rante pour illustrer l'effet de métabole . . . . .	288
8	Différentes sources domestiques, du voisinage ou de la ville à partir d'une position entre l'intérieur et l'extérieur pour illustrer les rapports possibles de proche et de lointain sonore . . . . .	289
9	Une configuration spatiale simple et trois sources, puis ajout d'un dis- positif spatial réverbérant et focalisant qui illustre l'effet de présence sur une voix . . . . .	290



# THESE DE DOCTORAT en ARCHITECTURE

## Écouter l'architecture

*Outils numériques et conception ambiante, la piste du sonore  
renouvelée*

## ANNEXES

Théo Marchal

École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble,  
Laboratoire AAU, équipe CRESSON,  
*theo.marchal@grenoble.archi.fr*

Université Grenoble Alpes

## A.1 Première annexe : Questionnaires

### A.1.1 École d'hiver 2017

*Questionnaire réel et recodé - École d'hiver 2017*

Quelle appréciation portez-vous sur cette formation	Les objectifs annoncés en début de formation ont-ils été atteints	Pensez-vous que le contenu abordé est transférable à votre situation professionnelle		Le temps imparti au stage vous paraît-il suffisant ?	ont-elles semblé (exercices, échanges d'expériences, simulation...)		Suggestion pour améliorer la formation
		Oui, dans quel cadre	non, pourquoi ?		Adaptée aux contenus	Adaptée au groupe	
Très bonne formation que je conseillerais	Trop peu de temps pour expérimenter réellement, ajuster, refaire de prise de son dans le cadre de l'outil esquissos	en terme d'une "culture générale" de l'écoute des espaces, principe d'écoute réactive qui est un principe simple et applicable	difficulté pour transmettre les expériences esquissos que je ne maîtrise pas du tout, déjà même par rapport à l'utilisation de rhinoceros	on pourrait approfondir en passant quelques jours de plus	En grande partie	Partiellement	Etre plus directif dans la constitution des groupes (peu importe on est pré à travailler avec tout le monde). Relier plus directement les prises de son au projet de fin de semaine. Refléchir aux intentions de prise de son avant d'appuyer sur REC, et avant de distribuer le matériel
Cette formation m'a appris beaucoup de choses que je pense creuser encore, aussi bien sur le plan personnel que professionnel	le pensais avoir plus d'informations sur les méthodes et outils d'étude mais dans l'ensemble je suis très satisfaite	Oui dans le cadre de l'urbanisme c'est une évidence	/	C'est une semaine dense, j'aimerais la poursuivre pour apprendre d'avantage mais elle permet, sous cette forme une bonne immersion	Tout à fait	Tout à fait	Continuer ainsi
Une formation assez complète et riche pour expliquer les notions d'ambiance et de paysage sonore	tout à fait	dans le cadre d'un projet de recherche pour aborder la question d'ambiance dans le souterrain afin de créer des parcours qui traiteraient positivement la notion de passage (métro parisien)	/	Le temps des ateliers était un peu court pour un rendu bien travaillé	tout à fait	tout à fait	Etre plus directif pour constituer les groupes. Envisager un temps plus long pour la formation
Très bien	tout à fait	Oui dans le travail avec des architectes sur différents projets	/	Les deux derniers jours sont chargés quand il faut réaliser le projet de l'équipe	tout à fait	tout à fait	/
Cette formation est de grande qualité dans la diversité et la multidisciplinarité des approches qu'elle propose. Elle pose des questions essentielles sur le sujet sonore pour qui s'y intéresse. J'apprécie tout spécialement l'application directe des outils et concepts lors du workshop ainsi qu'elle porte ouverte sur l'innovation numérique apportée cette année.	Le sujet fortement architectural et urbain de cette année a été amplement parcouru, les regards portés par les concepteurs sur ces espaces ont été sensiblement transformés. La présence des habitants était aussi d'une grande aide à la compréhension des espaces	Bien sûr pour toutes les raisons ci-dessus puis : 1) l'analyse sonore d'un lieu s'avère pertinente 2) la transmission d'un projet par le son s'est révélée efficace lors du rendu.	/	Le temps passe toujours trop vite. Le temps du projet était court, mais le planing général était très bien ficelé.	tout à fait	tout à fait	Peut-être pourriez vous demander aux participants les questions qui les amènent ici en début de semaine et proposer un échange sur les changements de regards que la formation a apporté.
Intéressant bien que des temps de débat trop courts.	En grande partie : interdisciplinarité des participants peu exploitée	Précision des interactions espace urbain/ambiance. Développement d'une conscience de construction par rapport au sonore	/	J'aurais préféré moins d'interventions théoriques dans l'objectif de débattre plus longtemps	Partiellement	En grande partie	Ateliers "tables rondes" : s'intéresser aux potentiels écarts d'interprétation ; échanges autour de nos méthodes respectives.
Intéressante et assez complète	En grande partie	Oui, je m'intéresse aux questions de confort ; le confort du piéton notamment acoustique semble être une piste intéressante à creuser.	/	largement	tout à fait	En grande partie	L'initiation au logiciel très intéressante, il me semble intéressant d'accorder un plus de temps à cette initiation
Très bonne semaine	En grande partie	Particulièrement les idées autour de l'écoute réactive et les définitions de termes (paysage, environnement, milieu, etc.)	/	ça pourrait être plus long mais en même temps ce serait plus difficile à placer dans la vie professionnelle / personnelle	En grande partie	En grande partie	Une autre manière de former les groupes soit un autre moment (plus tard), en fonction des idées à développer soit les prédéterminer.
Très positive	En grande partie	Terrain en sociologie (prise de son, montage)	Esquissos, peu adapté à l'analyse du réel, à des situations dynamiques ou en mouvement	oui	En grande partie	Tout à fait	Lien entre théorie et étude de cas peu évident
/	Tout à fait	L'urbanisme, la fonction de l'espace sonore	/	oui	Tout à fait	Tout à fait	/
Excellente	Tout à fait	Oui le logiciel esquissos m'aidera dans la conception de mes projets d'architecture	/	Où il est suffisant	Tout à fait	Tout à fait	Donne un peu plus de temps à la pratique des logiciels
Excellente	Tout à fait	L'approche, la sensibilité à la thématique et quelques outils méthodologiques	le logiciel m'a sensibilisée mais dans mon domaine, difficile à implémenter	c'est idéal	Tout à fait	Tout à fait	Théorie super, étude de cas parfois trop longues, ateliers et terrain parfaits.
Thés heureux d'avoir participé, rencontré des personnes différents horizons, et d'avoir pu rencontrer les acteurs du cresson et leurs travaux	Partiellement, beaucoup de choses ont été abordées. Nécessite maintenant d'approfondir les éléments qui m'intéressent (technique de prise de son, méthodes d'analyses, écoute)	Pour les réflexions sur le son, l'arpentage, les modalités d'écoute etc. Dans le cadre de projets personnels	Les approches plus urbanistiques et architecturales (lus techniques) me concernent moins.	On en veut toujours plus, 1 semaine dense c'est très bien.	Tout à fait	Tout à fait	Idee pour une prochaine, terminer sur un week-end terrain-découverte un peu plus festif !
Il s'agissait pour moi d'une formation très intéressante et enrichissante. Elle m'a permis d'initier aux techniques d'enregistrement sonore.	Tout à fait	Tout à fait, je pense à m'en servir dans le cadre de mon doctorat	/	Oui en grande partie, j'aurais aimé avoir plus de temps pour manipuler l'outil esquissos	tout à fait	tout à fait	la durée de la formation pourrait être plus longue. Surtout j'aurais aimé aborder les logiciels qui permettent de faire le montage son.
Une très bonne semaine de formation	En grande partie	Oui dans le cadre de l'enseignement à mon université	/	Il est insuffisant pour vraiment maîtriser l'outil esquissos	tout à fait	partiellement	Donner plus de temps de pratique (atelier) soit pour maîtriser les outils techniques ou pour le travail de terrain. Avoir plus de temps de formation (15 jours ?)

Esquissos +	Esquissos -	Utilisation personnelle	Utilisation professionnelle	Remarque globale
	difficulté à maîtriser l'outil	/	/	Manque de temps pour appréhender l'outil
	/	Oui	Oui	Envie de poursuivre et application "évidente" des outils transmis
	/		Oui application dans un contexte projet	Plus de temps
			Oui dans un travail avec des architectes	Temps de projet un peu court
Oui, bonne articulation de la théorie et de la pratique par le numérique	/		Oui pertinence de l'utilisation du son dans le projet	Temps de projet un peu court
			Oui, Développement d'une conscience par rapport au sonore	moins de théorie, plus d'échange
Oui initiation très intéressante			Oui la piste sonore est une piste à creuser dans les enjeux de confort	Manque de temps pour appréhender l'outil
	lien avec étude de cas peu évident		Oui mais plutôt sur des apports autres que des esquissos	Esquissos, peu adapté à l'analyse du réel, à des situations dynamiques ou en mouvement
Oui le logiciel esquissos m'aidera dans la conception de mes projets d'architecture			Oui, urbanisme	
Oui, le logiciel à sensibiliser			Oui, architecture	Plus de temps pour la pratique logiciel
			Non difficile à appliquer dans le domaine pro (anthropologue)	
	moins concerné par les approches archi/urba			
j'aurais aimé avoir plus de temps pour manipuler l'outil esquissos			Oui (doctorant et archi)	Temps trop court sur les logiciels
			Oui (enseignement)	temps insuffisant pour maîtriser esquissos

### A.1.2 Option design sonore 2017/2018

*Questionnaire réel et recodé - Option design sonore 2017/18*

Les objectifs de l'option (et annoncés dans la fiche taiga) correspondent-ils à vos attentes et à votre motivation d'inscription ? Les aspects abordés vous ont-ils apporté des connaissances et pistes de travail ?	Articulation avec d'autres activités (projet, séminaire, intérêts personnels) : l'option vous a-t-elle permis d'approfondir un sujet abordé par ailleurs ?	Auriez-vous voulu avoir plus de présentations ? Sur quels thèmes ?	L'encadrement est-il adapté au travail demandé ?	La charge de travail est-elle raisonnable ? Avez-vous travaillé en dehors des heures encadrées ou combien ? Suffisant, insuffisant, dépassement ...	Le mode de rendu final demandé vous paraît-il adapté ?	Le travail par groupe en croisant parfois les origines thématiques de master ont-elles été enrichissantes ou difficiles ?	Est-ce que vous envisageriez de poursuivre sur ces aspects ou d'utiliser esquissons par la suite ?	Rhino et grasshopper sont-ils des outils nouveaux pour vous ? Avez-vous pu vous les approprier ?	Accepteriez-vous de participer à une demi-journée d'évaluation d'esquissons ?	Remarques et conseils pour améliorer cette option
Cette option a mis l'accent sur certains points de l'ambiance sonore au quotidien et dans la conception architecturale	Pas spécialement. À mettre en lien avec les projets personnels	Non	Oui	La charge de travail est tout à fait raisonnable. Peut-être même légèrement insuffisante pour des groupes de 5 (groupes de 2-3 plus adaptés)	Complètement	Enrichissante	Pour l'instant non	Avant cette semaine je ne les ai pas ou peu utilisés, cette option permet une première approche	à voir...	D'un point de vue personnel je trouve la thématique de cet enseignement intéressante et son encadrement adapté. Néanmoins, cette option serait plus adaptée à un travail semestriel ou en lien avec le projet. Sur une semaine, cela reste relativement peu approfondi. Temps d'installation des logiciels à gérer.
L'option va au delà de mes attentes, je ne m'attendais pas à travailler sur un projet concret	Non, mais j'ai pris conscience de certaines problématiques, cela va me servir par la suite.	Oui, approfondir d'avantage sur le modèle mardi matin	Oui, malgré un logiciel un peu capricieux, on ne s'est pas perdu.	La charge de travail est raisonnable, je n'ai pas travaillé en dehors des heures de cours (à part pour retourner sur le site)	Oui	Enrichissantes	Oui, cela apporte quelque chose de plus au projet, notamment pour les formes et typologies urbaines	Nouveaux, non, mais peu utilisés	Oui	Oui, apport de l'outil pour la réflexion sur les formes et typologies urbaines
Oui	Oui, comprendre un autre plugin grasshopper pouvant être mis à profit pour de futurs projets.	Non	Oui	Oui, quelques heures en plus le soir en rentrant	Moyennement, la seule écoute sur rhino aurait pu suffir	Oui	Oui, un autre plugin de son	Non, outils que j'ai beaucoup utilisés	Oui	Plugin grasshopper pouvant être mis à profit pour de futurs projets.
Les attentes que j'avais son conformes à la semaine intensive. J'espère pouvoir développer la notion d'ambiance sonore dans mes projets	Oui	/	Oui	Oui	Oui	Enrichissante	Oui	Je connaissais déjà	Oui	Oui : développer la notion d'ambiance sonore lors de futurs projets
Oui, éventuellement en utilisant esquissons	Permet de corréler un futur travail de projet avec l'outil numérique	Non, pour le temps donné à l'intensif, cela était suffisant	Oui	Oui, 3h sur 4, suffisant	Oui, TB	Enrichissant	Oui	Non	Éventuellement	Installer le plugin au début de la semaine
Oui, découverte de l'impact sonore. Connaissance de l'outil informatique et d'un travail de conception différent.	Permet d'esquisser les conditions sonores d'espace non construit. Utile pour le projet	Non, pour le temps donné à l'intensif, cela était suffisant	Oui	Elle est adaptée aux heures et au rendu	Oui dans le temps donné	Chacun apporte ses connaissances c'est donc enrichissant	Oui, pour des projets qui auraient un impact avec le son	Ils étaient nouveaux, j'ai pu effectuer les sbases des deux logiciels	Dans la mesure de l'emploi du temps	La mise en route du logiciel esquissons...
Oui	Pas encore, mais il est certain que c'est une approche nouvelle et intéressante	Oui	Oui	Charge de travail super raisonnable et aucune heure de travail en dehors de l'encadrement	Oui	/	Oui pour nos futurs rendus, je trouve cela plus immersif et très intéressant	Pas vraiment nouveau, donc oui	/	Cela dépendra du moment demandé (en fonction de mon emploi du temps)
Oui	Effectivement, c'est d'ailleurs la raison de mon choix	Parfaitement	Très raisonnable	Oui, beaucoup	Bien sur, belle découverte	Oui, beaucoup	Bien sur, belle découverte	Non je les utilisaient déjà avant. Mais c'était enrichissant	Oui pourquoi pas	Rajouter plus de séminaires, Nous en dire plus sur le son
Oui	Non, mais nouvelle approche intéressante et ouverte	Oui, bon encadrement	Oui, non suffisant	Je pense qu'il aurait été bien d'avoir plus de temps pour pouvoir expérimenter avec les matériaux, et des formes plus complexes.	Plutôt enrichissante car donne des idées et des outils qui peuvent être utiles par la suite	Peut-être, mais pour l'instant beaucoup de problèmes techniques	Rhino non, grasshopper oui. Plus ou moins mais grasshopper est encore difficile	Pourquoi pas	L'idée d'expérimentation avec le logiciel est bonne, peut-être faudrait-il expérimenter sur le terrain	Nouvelle approche intéressante ; donne des idées et des connaissances qui peuvent être utiles par la suite
Oui, un aspect différent, une ouverture pas encore abordée au sein du cursus	Trop tôt dans l'année pour faire le passage de l'un à l'autre	Non	Oui, bon encadrement	Charge de travail raisonnable, seul travail en dehors : la résolution des problèmes logiciels	Mode de rendu adapté à la durée de l'exercice	Travail de groupe enrichissant pour l'un et pour l'autre mais pas de croisement entre thématique	Pas nouveau, mais durée d'utilisation trop courte pour se les approprier	Pourquoi pas	/	Utiliser esquissons pour un projet peut-être intéressant afin de concevoir une ambiance sonore, se rendre compte si des espaces sont de mauvaises qualités acoustiques ou non.
Grâce à cette option, j'ai pu apprendre en moins d'une semaine comment fonctionnaient deux logiciels. Les objectifs annoncés répondent à l'idée que je me faisais de l'option.	Trop tôt pour vous dire étant donné que l'on vient de débiter les cours	non	oui	oui, nous n'avons pas eu besoin de travailler en dehors des heures consacrées	oui	Enrichissante, c'est l'occasion de mettre en commun différentes méthodes de travail ou pratiques de logiciels	Oui, je peux le tester sur mes futurs projets.	Oui	Oui	J'aurais aimé que cette option dure plus qu'une semaine. En effet, je pense qu'aborder le projet par l'atmosphère acoustique qu'il peut produire est primordial. C'est dommage que l'on ne puisse pas l'approfondir plus au cours du semestre.
Plutôt oui, notamment dans la prise en compte des sons urbains dans la conception d'un projet.	J'espère pouvoir utiliser esquissons dans la phase d'esquisse de mon projet à l'avenir	Non	Oui	La charge de travail est raisonnable et adaptée à une semaine de reprise des cours	Oui	Enrichissant, notamment dans la maîtrise ou non de certains logiciels	J'aimerais bien	Non, déjà utilisé en licence	Dans la mesure où mon emploi du temps le permet	aborder le projet par l'atmosphère acoustique qu'il peut produire est primordial. /
Oui, même si la description taiga était plutôt floue. L'angle d'attaque sensible était très intéressant et enrichissant	Non, mais elle sera sûrement utile dans mes travaux à venir	Pas spécialement, mais il aurait été plus intéressant de placer la présentation de mardi plus tôt dans le processus de la semaine afin qu'elle puisse directement servir	Oui	Oui, j'ai trouvé dommage de passer autant de temps à régler les problèmes d'installation d'esquissons	Oui, la vidéo mêlant visuel et audio permet une certaine immersion	L'approche étant expérimentale, ces différentes origines couplées à l'ouverture d'esprit de chacun (y compris les encadrants) furent très enrichissantes	Oui, assurément. C'est un outil / moteur du projet supplémentaire et facile à prendre en main.	Je connaissais déjà rhino, mais n'avait que très peu utilisé grasshopper par le passé. Compte tenu de la facilité d'esquissons, l'appropriation de grasshopper était plutôt aisée	Joker	prise en compte des sons urbains dans la conception d'un projet.
J'espère être plus attentive aux ambiances sonores lors des conceptions futures	Je n'avais jamais abordé le grand thème de l'ambiance sonore & architecture. Il s'agissait d'une découverte	J'avais imaginé avoir plus d'apports théoriques. Matin cours / Après midi application	/	La charge de travail est raisonnable	Oui	Elles sont enrichissantes car cela permet de percevoir les différents niveaux	Si j'en ai l'utilité dans un projet oui. Mais il faudra apprendre rhino et grasshopper avant.	Oui ils sont nouveaux (1 semaine de prise en main il y a deux ans), je ne l'utilise pas pour le projet.	Je ne suis pas un profil très pertinent contenu de mon manque de maîtrise des outils	C'est un outil / moteur du projet supplémentaire et facile à prendre en main. Facilité d'appropriation de l'outil

Esquissons +	Esquissons -	Utilisation personnelle	Utilisation professionnelle	Remarque globale
Sensibilisation à l'ambiance sonore et Pistes de travail	/	Oui, projet personnel	non pas pour l'instant	Peut être plus adapté à un temps long et à un vrai processus de projet
Oui, apport de l'outil pour la réflexion sur les formes et typologies urbaines	Logiciel un peu capricieux	/	Oui	Prise de conscience des problématiques liées au sonore ; L'outil ne remplace pas la transmission de connaissances / exemples sur la question sonore (plus de séminaires demandés)
Plugin grasshopper pouvant être mis à profit pour de futurs projets.	/	/	Oui	Oui : développer la notion d'ambiance sonore lors de futurs projets
/	/	/	Oui	/
Oui, éventuellement en utilisant esquissons	Permet de corréler un futur travail de projet avec l'outil numérique	Non, pour le temps donné à l'intensif, cela était suffisant	Oui	Permet de corréler un futur travail de projet avec l'outil numérique
Oui, découverte de l'impact sonore. Connaissance de l'outil informatique et d'un travail de conception différent.	Permet d'esquisser les conditions sonores d'espace non construit. Utile pour le projet	Non, pour le temps donné à l'intensif, cela était suffisant	Oui	Découverte de l'impact sonore. Connaissance de l'outil informatique et d'un travail de conception différent.
Oui	Pas encore, mais il est certain que c'est une approche nouvelle et intéressante	Oui	Oui	Approche nouvelle et intéressante, mais pas de liens immédiats avec l'activité de projet
Oui	Effectivement, c'est d'ailleurs la raison de mon choix	Parfaitement	Très raisonnable	Oui, beaucoup
Oui	Non, mais nouvelle approche intéressante et ouverte	Oui, bon encadrement	Oui, non suffisant	Je pense qu'il aurait été bien d'avoir plus de temps pour pouvoir expérimenter avec les matériaux, et des formes plus complexes.
Oui, un aspect différent, une ouverture pas encore abordée au sein du cursus	Trop tôt dans l'année pour faire le passage de l'un à l'autre	Non	Oui, bon encadrement	Charge de travail raisonnable, seul travail en dehors : la résolution des problèmes logiciels
Grâce à cette option, j'ai pu apprendre en moins d'une semaine comment fonctionnaient deux logiciels. Les objectifs annoncés répondent à l'idée que je me faisais de l'option.	Trop tôt pour vous dire étant donné que l'on vient de débiter les cours	non	oui	oui, nous n'avons pas eu besoin de travailler en dehors des heures consacrées
Plutôt oui, notamment dans la prise en compte des sons urbains dans la conception d'un projet.	J'espère pouvoir utiliser esquissons dans la phase d'esquisse de mon projet à l'avenir	Non	Oui	La charge de travail est raisonnable et adaptée à une semaine de reprise des cours
Oui, même si la description taiga était plutôt floue. L'angle d'attaque sensible était très intéressant et enrichissant	Non, mais elle sera sûrement utile dans mes travaux à venir	Pas spécialement, mais il aurait été plus intéressant de placer la présentation de mardi plus tôt dans le processus de la semaine afin qu'elle puisse directement servir	Oui	Oui, j'ai trouvé dommage de passer autant de temps à régler les problèmes d'installation d'esquissons
J'espère être plus attentive aux ambiances sonores lors des conceptions futures	Je n'avais jamais abordé le grand thème de l'ambiance sonore & architecture. Il s'agissait d'une découverte	J'avais imaginé avoir plus d'apports théoriques. Matin cours / Après midi application	/	La charge de travail est raisonnable

### **A.1.3 Option design sonore 2018/2019**

*Questionnaire réel et recodé - Option design sonore 2018/19*



## A.2 Deuxième annexe :

### Outil : description et évolutions

#### A.2.1 Composants et paramètres

##### Esquissons Launcher



Le "lanceur d'*EsquisSons*" permet de démarrer en fond l'application compilée dans MaxMSP et qui se charge de moduler les sons de la scène et de les faire entendre.

##### Paramètres d'entrée :

- "Open Esquissons" : *Permet de lancer l'application MaxMSP (en booléen)*
- "On Off" : *Permet d'allumer ou d'éteindre l'application MaxMSP(en booléen)*
- "Alt Path Optionnal" : *Permet de définir un chemin d'accès optionnel pour l'application (si non installé dans le répertoire par défaut(en ligne de caractères))*

##### Listener Point



Le "Point d'écoute" permet de déclarer le point depuis lequel on écoute dans le modèle, sa taille et son orientation.

Le "Point d'écoute" permet de déclarer le point depuis lequel on écoute dans le modèle ((dans les coordonnées X,Y,Z mais aussi sa hauteur qui peut-être utile pour comparer des tailles ou des postures différentes en un même point (hauteur de la tête). Enfin, on peut également déterminer la "direction" du point d'écoute, c'est-à-dire l'orientation de la tête dans le modèle.

##### Paramètres d'entrée :

- "Listener Location" : *Permet de positionner le point d'écoute dans le modèle (en coordonnées X,Y,Z)*
- "Direction" : *Permet de déterminer la "direction" du point d'écoute, c'est-à-dire l'orientation de la tête dans le modèle (en degrés)*



### Paramètres d'entrée :

- "Value List gh" : permet de connecter une liste de valeur (composant générique de grasshopper) qui se remplit automatiquement avec les noms des sons intégrés (Sortie d'un composant "Value List")

### Built Environment



Le composant "Environnement Construit" permet de déclarer une ou plusieurs morphologies comme des masses construites dans l'esquisse sonore. On peut alors les qualifier pour déterminer leur impact acoustique.

### Paramètres d'entrée :

- "Geo" : Permet de déclarer une ou plusieurs morphologies du modèle (rhino et/ou grasshopper) (brep)
- "Opacity" : Qualifie le degré d'"opacité" acoustique de la morphologie à travers une valeur théorique (nombre entier de 0 à 10)
- "AbsCoef" : Permet de définir le coefficient alpha sabine de(s) morphologie(s) déclarée(s) (nombre flottant de 0,01 à 1,00)

### Esquissons Main Engine



Le "Moteur Principal" reçoit toutes les informations qui sont en sortie de chacun des objets qui composent la scène plus quelques paramètres supplémentaires que l'utilisateur peut déclarer. C'est ce composant qui regroupe une grosse partie des calculs (le reste est fait directement dans l'application de fond) puis qui les transmet à l'application sous forme de chaînes de caractères via un protocole UDP pour que cette dernière les traduise en son. Le moteur principal renvoie également quelques informations visuelles et chiffrées que l'on peut ensuite afficher à l'aide de grasshopper (voir "Données de sortie")

### Paramètres d'entrée :

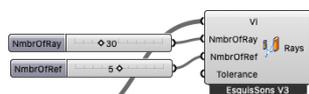
- "Listener" : Permet de recevoir la donnée de sortie du composant "Listener Point" (liste python)

- "Sources" : Permet de recevoir la donnée de sortie du composant "Sound Source" (liste python)
- "Geometry" : Permet de recevoir la donnée de sortie du composant du "Built Environment" (liste python)
- "Reverb On" : Permet d'activer ou de désactiver le module de réverbération (booléen)
- "Lock" : Permet de verrouiller les calculs et de stopper l'auralisation (booléen)
- "Indoor" : Permet de choisir les moteurs de calculs adaptés au environnements intérieurs (booléen)

#### Données de sortie :

- "Vi" : agrégation des informations pour visualiser les réflexions dans le composant "Visualize Reflections" (liste python)
- "RT by source" : Temps de réverbération pour chaque source depuis le point d'écoute choisi (nombre flottant)
- "Rev Info by source" : Informations complètes sur la réverbération pour chaque source (chaîne de caractères)

### Visualize Reflections



Le composant "Visualisation des Réflexions" permet, après le moteur de calculs, de visualiser les réflexions d'une ou plusieurs sources depuis un point d'écoute.

#### Paramètres d'entrée :

- "Vi" : Permet de recevoir la donnée de sortie du composant "Esquissons Main Engine" (liste python)
- "Number of Rays" : Permet de déclarer le nombre de rayons à lancer depuis les sources du modèle (nombre entier)
- "Number of Ref" : Permet de déterminer combien de réflexions prendre en compte dans le lancer (nombre entier)
- "Tolerance" : Permet de calibrer la distance depuis le point d'écoute à partir de laquelle les réflexions sont affichées (nombre flottant de 0 à 1)

### A.2.2 Tableaux des évolutions (Manipulations utilisateur, évolutions techniques, paramètres et retours logiciels)

		Première correction après le projet de recherche ADEME : reprise de certains manque et prospective envisagées en fin de recherche	Légère correction / modification après la première WS + Début de thèse	Refonte complète (logicielle, pratique et acoustique) en prévision de l'école d'hiver pour validation ou invalidation et sortie de la première beta (1.0)	Nouvelle fonctionnalité après résultat WS + retours + Salon innovative + mise en ligne sur F4R (vérifier la date ?)	Version test de compatibilité MAC	Version test de compatibilité MAC	Mise à jour pour faire suite aux différents retours mais ausis à nos premiers résultats et analyses des carnets de terrains.	Version préparatoire réalisée pour tester les améliorations à venir et les comptabilités (non disponible sur F4R mais diffusée par email ou en local)	A VENIR, version actuelle (résultat de la thèse)
Date		2015 début 2016	fin 2016	début 2017	mi 2017	fin 2017	fin 2017	mi 2018	mi 2019	fin 2019
Version		V0.6 (à l'issue du projet ADEME)	V0.8	V0.9	V1.0	V1.02(windows)	V 1.02(mac)	V 2.0(windows)	V 2.5.PR rhino6(Windows/MAC)	V 3.0 rhino6(PC/MAC)
<b>ORGANISATION</b>										
Manipulation utilisateur GH		Possibilité de gérer la taille de l'ilot sur la base de 4 blocs // la position de 3 sources // la dimension de la source (largeur profondeur hauteur) // distance et hauteur globale des environnements sonores cardinaux	Possibilité de connecter une morphologie générée pour remplacer l'un des 4 blocs	Chaque objet est géré par un composant spécifique (1 pour toutes les morphologies, 1 par source, 1 par point d'écoute, 1 pour la visualisation, 1 pour les calculs, 1 pour lancer l'application d'écoute) ; Tous les points et morphologie peuvent être gérés directement dans gh	Ajout d'une entrée permettant de débrayer la reverb dans le cas de modules complexes			Ajout d'une entrée "Reset" permettant de remettre à plat l'ensemble des sources en cas de surcharge ou d'oubli des opérations effectuées par l'utilisateur		Manipulation exclusive depuis GH (volume, enregistrement, retour)
Manipulation utilisateur MAX		Reglage individuel de volume débrayable pour chaque source // Selection des sources cardinales parmi 5 types // Selection des 3 sources localisées parmi 8 types // Possibilité d'importer un son pour la première source localisée // Possibilité d'exporter la scène sonore comme un fichier au format audio	Possibilité d'importer un son comme source intérieure (dans le BLTC) // Manipulation du fond sonore dans Max (volume activé/désactivé)	On ne peut que visualiser le volume des sources, et si besoin débrayer le gain pour le régler manuellement. On conserve également la fonction d'export depuis l'application	Ajout d'un Gain général pour gérer le volume global de sortie (trop faible initialement)			Refonte graphique de l'application avec ajout d'une visualisation des sources actives et inactives et d'une visualisation des sons joués (chemin entré par l'utilisateur)		Refonte graphique : Max ne sert plus qu'à produire la scène sonore et éventuellement un retour graphique des volumes.
Manipulation utilisateur dans Rhino		Manipulation possible des 3 sources localisées // manipulation possible des 2 points d'écoute	Possibilité de connecter une morphologie générée pour remplacer l'un des 4 blocs	Tous les points et morphologie peuvent être dessiné directement dans rhino				Totale liberté de manipulation des sources / écoutant / morphologies		
Retour GH (donnée)		/		Retour géométrique sous la forme d'une liste de polygones des rayons (première, seconde et troisièmes réflexions)						Ajout du temps de reverberation par source + nombre de réflexions et surfaces impactée (pour d'éventuels traitements)
Retour Rhino (visuel)		Affichage de l'ilot (sol et bâtiments générés), des sources, des points d'écoute et des BLTC		Retour visuel sous la forme de rayons des première, seconde et troisièmes réflexions						Retour visuel du TR autour des sources (cercles concentriques)
Retour Max (Visuel / audio / donnée)		Retour Audio de la scène sonore // Retour visuel du volume des sources par un VU metre // Retour visuel des sources choisies // retour visuel de l'IP pour se connecter avec grasshopper entre les deux logiciel // retour visuel des chemins d'accès aux sources et du chemin d'export		Retour audio de la scène sonore // retour visuel du volume de chaque source // retour visuel de la bonne connectivité avec rhino;gh				Retour visuel des sources jouées		Audio uniquement

TECHNIQUE ET UI									
Installation	Manuelle : placer les fichiers dans les dossier // le plugin grasshopper est simplement un script à ouvrir		Création d'un installeur automatique pour l'application MAX	Retour à une installation manuelle mais simplifiée (seulement 3 dossiers)			Création d'un installeur plus robuste qui installe l'ensemble de l'outil et de ses plugin + ressources	Pas d'installeur mac	Suppression de l'installeur pour plus de flexibilité multi-plateforme et versions.
Connectivité	Connection manuelle entre gh/max (entrer son adresse IP) ; protocole UDP		Connexion automatique entre gh max		Meilleure gestion des chemins vers les fichiers son (compatibilité avec Windows 10 et autres) / Il n'est plus possible de mettre des espaces dans les noms et chemins de fichier / UDP OSC plus stable		Simplification des communications entre MAX et GH pour permettre d'utiliser des esquisses sur multi plateforme	Simplification des communications entre MAX et GH pour permettre d'utiliser des esquisses sur multi plateforme	
Interface GH	On manipule des composants déjà connectés et qui fabriquent l'algorithme			On manipule des composants que l'on importe et que l'on connecte entre eux selon nos besoins, les algorithmes se font directement dans les composants				Developpement des composants MAC en reprennant les principe des composants PC	Verification des algorithmes et ajout de messages d'état (en cas d'erreur de l'utilisateur) et d'aide (indiquant la marche à suivre)
Interface MAX	On manipule une application compilée							Compilation de l'application à l'identique sur mac	
Licence	Licence Creative Commons / Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 France / (CC BY-NC-SA 3.0 FR)						Même Licence + Code open source libre d'accès et de modification pour l'utilisateur	Même Licence + Code open source libre d'accès et de modification pour l'utilisateur	Changement de licence pour la licence CeCILL 2.1 : Presque les mêmes conditions, mais plus de précision dans les conditions d'utilisation et de détournement du code source (adapté à l'open source et à sa réutilisation (tout en conservant la paternité de l'auteur et l'assurance d'une utilisation non commerciale)

s

## A.3 Troisième Annexe : Codes sources

### A.3.1 Plug-in Grasshopper

*Présenté par composants : format Python)*

#### Main Engine

```

1 """EsquisSons Main Engine will calculate the auralisation.
2 Use Listener, Sources and Geometry objects to connect them here :)
3 -
4 AAU / Theo Marchal / BETA VERSION / MARS2020"""
5
6 from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as
   component
7 import Grasshopper, GhPython
8 import System
9 import Rhino
10 import rhinoscriptsyntax as rs
11
12 class MyComponent(component):
13
14     def RunScript(self, Listener, Sources, Geometry, Reverb_on,
15                 Lock, _Indoor):
16
17         __author__ = "theomarchal"
18         self.Params.Input[0].Description = "Listener Object (Use
19         Esquissons_Listener component)"
20         self.Params.Input[1].Description = "Sources Objects (Use
21         Esquissons_Source component)"
22         self.Params.Input[2].Description = "Built environment (Use
23         Esquissons_Built Environment component)"
24         self.Params.Input[3].Description = "Set Reverb_On to True
25         to activate Reverberation (Boolean input)(default is off)"
26         self.Params.Input[4].Description = "To Lock sources (and
27         sound), set to True, then turn it back to False (Boolean input)(
28         default is unlock)"
29         self.Params.Input[4].Description = "*optionnal* Set to '
30         True' if your scene is indoors, otherwise leave the field empty
31         (Boolean input)(default is outdoor)"
32         self.Params.Output[0].Description = "Visualize output (plug
33         it in visualize components to see rays)"
34         self.Params.Output[1].Description = "Reverberation time (in
35         second / for each source)"

```

```
25     self.Params.Output[2].Description = "Reverberation Info (
Time and mix / for each source)"
26
27     self.Name = "EsquisSons Main engine"
28     self.NickName = "EsquisSons"
29     self.Message = "EsquisSons V3"
30     self.Category = "EsquisSons"
31     self.SubCategory = "0/ EsquisSons"
32
33     import rhinoscriptsyntax as rs
34     import math
35     import OSC
36     import Grasshopper.Kernel as gh
37
38     rem = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Remark
39     ero = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Error
40     war = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Warning
41
42     try:
43         Lp = ((Listener[0])[0])
44         Lh = ((Listener[0])[3])
45     except:
46         self.AddRuntimeMessage(ero, 'You must connect a
Listener component (EsquisSons) !')
47         raise Exception('nolistener')
48
49     if len(Sources) <= 0:
50         self.AddRuntimeMessage(war, 'You must connect at least
one Source component (EsquisSons)')
51
52     if len(Geometry) <= 0:
53         self.AddRuntimeMessage(war, 'You must connect at least
one Geometry component (EsquisSons)')
54
55     So_dic = dict()
56     Si = []
57     SDi = []
58     SPa = []
59     SPan = []
60     Spl = []
61     Sint = []
62     Opa = 1
63     Srev1 = []
64     Srev2 = []
65     Str = []
66     Vi = []
67     MaVol = []
68     RTsource = []
69     Revinfo = []
70     Indoor = _Indoor
71     Vi.append(Geometry)
```

```

72     Vi.append(Listener)
73     Vi.append(Sources)
74     if Indoor is True :
75         Factor = 1.0
76     else :
77         Factor = 1.5
78     def pan(Li,So):
79         Tl = ((Li[0])[1])
80         Tr = ((Li[0])[2])
81         pano =(((rs.Distance(Tl,So))-(rs.Distance(Tr,So))+Lh)
*(127/(2*Lh)))
82         return pano;
83     def DecDist(Ht,Dis):
84         Ds = (Dis*1.8)/(Ht)
85         dec = (10*math.log10(Ds))
86         filter = (1/Ds)*15000
87         return [-(dec),filter];
88     def inter_S_B(s,div,Lis,br):
89         udiv = div
90         vdiv = div
91         srf = rs.AddSphere((s[1]),((s[2])*2.5))
92         u = rs.SurfaceDomain(srf,0)
93         v = rs.SurfaceDomain(srf,1)
94         pts = []
95         for i in range(0, udiv+1, 1):
96             for j in range(0, vdiv+1, 1):
97                 pt = (i/udiv,j/vdiv,0)
98                 srfP = rs.SurfaceParameter(srf,pt)
99                 newpt = rs.EvaluateSurface(srf,srfP[0],srfP[1])
100                pts.append(rs.AddPoint(newpt))
101         lig = []
102         lid = []
103         for p in pts :
104             lig.append(rs.AddLine((Lis[0])[1],p))
105             lid.append(rs.AddLine((Lis[0])[2],p))
106         ig = []
107         id = []
108         for i in lig :
109             for u in br :
110                 if type(rs.CurveBrepIntersect(i,(u[0]))) ==
tuple :
111                     ig.append((rs.CurveBrepIntersect(i,(u[0])))
+(u[1],))
112                 else :
113                     ig.append((rs.CurveBrepIntersect(i,(u[0])))
)
114         for i in lid :
115             for u in br:
116                 if type(rs.CurveBrepIntersect(i,(u[0]))) ==
tuple :
```

```

117         id.append((rs.CurveBrepIntersect(i,(u[0])))
+(u[1],))
118         else :
119         id.append((rs.CurveBrepIntersect(i,(u[0])))
)
120         if len(id) == 0:
121             self.AddRuntimeMessage(war, "it doesn't seem like
there's any geometries connected")
122             raise Exception('noGeo')
123         intg=0
124         for i in ig:
125             if type(i) is tuple :
126                 intg += (1*(i[-1]))
127         intd=0
128         for i in id:
129             if type(i) is tuple :
130                 intd += (1*(i[-1]))
131         difg = len(ig)-intg
132         if difg <= 0 :
133             difg = 0.1
134         difd = len(id)-intd
135         if difd <=0 :
136             difd =0.1
137         return [(((math.log10(difg*100/len(ig)))*35.3) -70.6)
,(((math.log10(difd*100/len(id)))*35.3) -70.6)];
138
139     def volm(src) :
140         if src[3] == 0 or src[3] >=70 :
141             srcvlm = 0
142         else :
143             srcvlm = (src[3]-70)
144         return srcvlm
145
146     def rev(Ge,Lis,Src,div):
147         udiv = div
148         vdiv = div
149         Pt_L = Lis [0][0]
150         srf = []
151         FirstRay = []
152         SecondRay = []
153         First_RefPoint = []
154         drawray =[]
155         Reverb = []
156         for i in Ge :
157             srf.append(i[0])
158         sph =(rs.AddSphere(Src [1] ,Src [2]))
159         Src_pt =(Src [1])
160         u = rs.SurfaceDomain(sph,0)
161         v = rs.SurfaceDomain(sph,1)
162         pts = []
163         for i in range(0, udiv+1, 1):

```

```

164         for j in range(0, vdiv+1, 1):
165             pt = (i/udiv,j/vdiv,0)
166             sphP = rs.SurfaceParameter(sph,pt)
167             newpt = rs.EvaluateSurface(sph,sphP[0],sphP[1])
168             pts.append(rs.AddPoint(newpt))
169     Dir = []
170     for p in pts:
171         Dir.append(rs.VectorCreate(p,Src_pt))
172     Reflexion = []
173     for d in Dir :
174         Reflexion.append(rs.ShootRay(srf,Src_pt,d,
reflections=4))
175     Project = []
176     for v in Reflexion :
177         Cl_Pt = []
178         Ray_v = []
179         try :
180             Project.append(v[1])
181             Ray_v.append(rs.AddPolyline(v))
182         except :
183             pass
184         for u in Ray_v :
185             pt_on = rs.CurveClosestPoint (u,Pt_L)
186             cl = rs.EvaluateCurve(u,pt_on)
187             Dicl = (rs.Distance(Pt_L,cl))
188             if Dicl <= ((Lis [0])[3]):
189                 try :
190                     First_RefPoint = rs.CurveClosestPoint (
u,v[1])
191                     Second_RefPoint = rs.CurveClosestPoint
(u,v[2])
192                     endc=((rs.CurveClosestPoint(u,(rs.
CurveEndPoint(u))))))
193                     if pt_on > Second_RefPoint :
194                         SecondRay.append(pt_on/endc*(rs.
CurveLength(u)))
195                         drawray.append(u)
196                     elif pt_on > First_RefPoint :
197                         FirstRay.append(pt_on/endc*(rs.
CurveLength(u)))
198                 except :
199                     pass
200         box = rs.AddBox(rs.BoundingBox(Project))
201         boxarea = round((rs.SurfaceArea(box)[0]),2)
202         Cube = []
203         Cube.append(box)
204         surfacetorev = []
205         for s in srf :
206             ptons = []
207             for p in Project :

```

```

208         if rs.Distance((rs.BrepClosestPoint(s,p)[0]),p)
    < 0.1 :
209             ptons.append(p)
210             if len(ptoms) > 0 :
211                 surfacetorev.append(s)
212             surfaceab = []
213             for x in Ge :
214                 if x[0] in surfacetorev :
215                     surfaceab.append(x[2])
216             SrfandAb = [(surfacetorev[i], surfaceab[i]) for i in
range(0, len(surfacetorev))]
217             bbox = box
218             box = round(((rs.SurfaceVolume(box))[0]),1)
219             srfvol = []
220             srfvolex = []
221             absvol = []
222             srfarea =[]
223             srfrev = []
224             areaabs = []
225             surfacecenter = []
226             absidx = []
227             absvoltot = []
228             for i in SrfandAb :
229                 if rs.SurfaceVolume(i[0]) > 0 :
230                     srfvol.append(i[0])
231                     absvol.append(i[1])
232                 else :
233                     srfarea.append((rs.SurfaceArea(i[0]))[0])
234                     absvoltot.append(i[1])
235             srfvolex = rs.ExplodePolysurfaces(srfvol)
236             for i in srfvolex :
237                 ptonsrf = []
238                 usefulsrf = []
239                 for p in Project :
240                     if rs.Distance((rs.BrepClosestPoint(i,p)[0]),p)
    < 0.01 :
241                         ptonsrf.append(p)
242                         usefulsrf.append(i)
243                     if len(ptomsrf) > 0 :
244                         srfarea.append(rs.SurfaceArea(i)[0])
245                         srfrev.append(i)
246                 for i in srfrev :
247                     surfacecenter.append(rs.SurfaceAreaCentroid(i)[0])
248                 for b in srfvol :
249                     for i in surfacecenter :
250                         if rs.Distance((rs.BrepClosestPoint(b,i)[0]),i)
    < 0.01 :
251                             absidx.append(srfvol.index(b))
252                 for i in absidx :
253                     absvoltot.append(absvol[i])
254             try:

```

```

255         areaabs = [srfarea[i]*(absvoltot[i]) for i in range
(0, len(absvoltot))]
256         except:
257             raise Exception('One source must be too deep inside
a geometry, try to get it out or to move it a little bit !')
258         Builtareaabs = 0
259         for i in areaabs :
260             Builtareaabs += i
261         BuiltArea = 0
262         for i in srfarea :
263             BuiltArea += i
264         BuiltArea = round(BuiltArea,2)
265         EmptyArea = 2*(round(boxarea - BuiltArea,2))
266         if EmptyArea < 0 :
267             EmptyArea = 0
268         TR = 1000*(0.16*box)/(Builtareaabs + (EmptyArea*1))
269         FRValue = 0
270         for f in FirstRay :
271             FV = (((Lis [0])[3])*15)/f)
272             FRValue += FV
273         if FRValue >=125 :
274             FRValue = 125
275         SRValue = 0
276         for s in SecondRay :
277             SV = (((Lis [0])[3])*20)/s)
278             SRValue += SV
279         if SRValue > 125 :
280             SRValue = 125
281         Reverb.append(round(FRValue))
282         Reverb.append(round(SRValue))
283         Reverb.append(round(TR,2))
284         return Reverb
285
286     def main():
287         atr = []
288         ManV = []
289         torev = []
290         rdm = []
291         for iS in range(len(Sources)):
292             Closest_pt_on_sphere = (rs.BrepClosestPoint ((rs.
AddSphere((Sources[iS])[1],(Sources[iS])[2])), Lp))
293             Si.append("S_{}".format(iS+1))
294             Distance = (rs.Distance(Lp,(Closest_pt_on_sphere
[0])))
295             SDi.append(DecDist(Lh,Distance))
296             spthi = (Sources[iS][0]).replace('\\', '/')
297             PathList = (spthi).split()
298             PercentS = ("\ ").join(PathList)
299             SPa.append(PercentS)
300             if Lock == True :
301                 SPa[iS] = '/i/NoSource_LOCKED'

```

```

302         self.AddRuntimeMessage(rem,'Your Sketch is
locked, no sound until you unlock ;)')
303         self.Message = "EsquisSons is locked"
304         SPan.append(pan(Listener,(Sources[iS])[1]))
305         Sint.append(inter_S_B((Sources[iS]),3,Listener,
Geometry))
306         if Reverb_on == True :
307             Srev = (rev(Geometry,Listener,(Sources[iS]),50)
)
308             Srev1.append((Srev)[0]*Factor)
309             Srev2.append((Srev)[1]*Factor)
310             Str.append((Srev)[2])
311             atr.append((Srev)[2])
312             totrev.append(Srev[0]+Srev[1])
313             ManV.append(volm(Sources[iS]))
314             rdm.append(Sources[iS][4])
315         if Reverb_on is True :
316             for i in range(0,len(atr)) :
317                 RTsource.append(round(atr[i]/1000,1))
318                 Revinfo.append(str(round(atr[i]/1000,1))+ 'sec
// mix : '+str(totrev[i]*Factor)+'%')
319         else :
320             RTsource.append('No RT: Reverb is disabled')
321             Revinfo.append('No infos: Reverb is disabled')
322         io = int((len(Sources)-1))
323         i_msg = []
324         iosc = []
325         for i in range(10):
326             try:
327                 pathold = oldpath[i]
328             except IndexError :
329                 oldpath.insert(i,["empty"])
330             except NameError :
331                 oldpath = []
332                 oldpath.append(["empty"])
333             iport = (57100+i)
334             iosc.append(OSC.OSCClient())
335             iosc[i].connect(("127.0.0.1",iport))
336             i_msg.append(OSC.OSCMessage())
337             if i <= io :
338                 i_msg[i].append(SDi[i][0])
339                 i_msg[i].append(SDi[i][1])
340                 i_msg[i].append(SPa[i])
341                 i_msg[i].append(SPan[i])
342                 if Lock is True :
343                     i_msg[i].append(0)
344                 else :
345                     if ((i_msg[i])[2]) != (oldpath[i]) :
346                         i_msg[i].append(1)
347                     else :
348                         i_msg[i].append(2)

```

```

349         i_msg[i].append(Sint[i])
350
351     try :
352         i_msg[i].append(Srev1[i])
353         i_msg[i].append(Srev2[i])
354         i_msg[i].append(Str[i])
355     except :
356         i_msg[i].append(0)
357         i_msg[i].append(0)
358         i_msg[i].append(0)
359     i_msg[i].append(ManV[i])
360     i_msg[i].append(rdm[i])
361     iosc[i].send(i_msg[i])
362     oldpath[i] = SPa[i]
363
364     else :
365         i_msg[i].append(-127)
366         i_msg[i].append(0)
367         i_msg[i].append('/i/NoSource')
368         i_msg[i].append(0)
369         i_msg[i].append(0)
370         i_msg[i].append(0)
371         i_msg[i].append(0)
372         i_msg[i].append(0)
373         i_msg[i].append(0)
374         i_msg[i].append(0)
375         i_msg[i].append(0)
376
377     try :
378         iosc[i].send(i_msg[i])
379     except :
380         self.AddRuntimeMessage(ero, 'Connexion Failed,
please ensure APP is open (use launcher) then reset the engine (
with lock/unlock)')
381         self.Message = 'Connexion Failure'
382         print "message, source {} : {}".format(i,i_msg[i])
383     if __name__ == "__main__":
384         main()
385         RT_bySource = RTsource
386         Revinfo_bySource = Revinfo
387     return (Vi, RT_bySource, Revinfo_bySource)

```

## Listener Point

```
1 """EsquisSons Listener is used to declare the listening point.
2 Define its position, orientation and size :)
3 -
4 AAU / Theo Marchal / BETA VERSION / AVRIL2020"""
5
6 from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as
   component
7 import Grasshopper, GhPython
8 import System
9 import Rhino
10 import rhinoscriptsyntax as rs
11
12 class MyComponent(component):
13
14     def RunScript(self, Listener_Location, Direction, Height):
15
16         __author__ = "theomarchal"
17         self.Params.Input[0].Description = "Location of the
18 listener foots (as a point - Default is set to 0,0,0)"
19         self.Params.Input[1].Description = "Direction of the
20 listener (in degrees from 0 to 360)"
21         self.Params.Input[2].Description = "How tall is the
22 listener (default = 1.80)"
23         self.Params.Output[0].Description = "Listener Geometry,
24 size and direction"
25         self.Params.Output[1].Description = "Listener Object (plug
26 it into EsquisSons)"
27         self.Name = "Listener Point"
28         self.NickName = "Listener"
29         self.Message = "EsquisSons V3"
30         self.Category = "EsquisSons"
31         self.SubCategory = "1/ Scene"
32
33         import rhinoscriptsyntax as rs
34
35         LL = Listener_Location
36         LD = Direction
37         LH = Height
38
39         if LL is None:
40             LL = rs.AddPoint(0,0,0)
41         if LD is None:
42             LD = 0
43         if LH is None:
44             LH = 1.8
45
46         LV = rs.VectorRotate([0,(LH),0],LD,[0,0,1])
47         matrix = rs.XformTranslation((0,0,LH))
```

```
44     LHp = rs.PointTransform(LL,matrix)
45     LV2 = rs.VectorScale((rs.VectorRotate(LV,90,[0,0,1])),0.5)
46     LV3 = rs.VectorScale((rs.VectorRotate(LV,-90,[0,0,1])),0.5)
47     T1 = rs.PointTransform(LL,(rs.XformTranslation(LV)))
48     Tl = rs.PointTransform(LL,(rs.XformTranslation(LV2)))
49     Tr = rs.PointTransform(LL,(rs.XformTranslation(LV3)))
50     ps=[T1,Tl,Tr]
51     Geo = [rs.AddSphere(LHp,(LH/10)),rs.AddLine(LL,LHp),rs.
AddSrfPt(ps)]
52     Tl = rs.PointTransform(Tl,matrix)
53     Tr = rs.PointTransform(Tr,matrix)
54     LP = [LHp,Tl,Tr,LH]
55     Listener = [LP]
56     return (Geo, Listener)
```

## Sound Source

```

1  """EsquisSons Source allows you to define a sound source.
2  Give its position, its size, and the sound file to play :)
3  -
4  AAU / Theo Marchal / BETA VERSION / AVRIL2020"""
5
6  from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as
   component
7  import Grasshopper, GhPython
8  import System
9  import Rhino
10 import rhinoscriptsyntax as rs
11
12 class MyComponent(component):
13
14     def RunScript(self, Source_Location, Source_Path, Source_Size,
15     _OptSource):
16         __author__ = "theomarchal"
17         self.Params.Input[0].Description = "Location of the source
18         (as a point -Default is set to 0,0,0 /Disabled for curve shapes
19         in source options)"
20         self.Params.Input[1].Description = "Path to the sound file
21         (as a text)"
22         self.Params.Input[2].Description = "Source Size (Amplitude
23         Sphere radius - Default is set to 1)"
24         self.Params.Input[3].Description = "*Optional* Source
25         Options (From 'Source Options' component)"
26         self.Params.Output[0].Description = "Source representation"
27         self.Params.Output[1].Description = "Source Object"
28         self.Name = "Sound Source"
29         self.NickName = "Source"
30         self.Category = "EsquisSons"
31         self.SubCategory = "1/ Scene"
32
33         import rhinoscriptsyntax as rs
34         import Grasshopper.Kernel as gh
35
36         rem = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Remark
37         ero = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Error
38         war = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Warning
39
40         SL = Source_Location
41         SP = Source_Path
42         SpS = Source_Size
43         Opt = _OptSource
44
45         if SL is None:
46             SL = rs.AddPoint(0,0,0)
47         if SP is None or len(SP)==0 :

```

```

43         SP = "NoSound"
44         self.AddRuntimeMessage(war, 'Source need a sound to be
played (Source_path input)- you can use built-in sound (
Esquissons) for a start')
45         if Opt is None or len(Opt)==0 :
46             if SpS is None:
47                 SpS = 1
48                 Geo = rs.AddSphere(SL,SpS)
49                 SD = [SP,SL,SpS,0,0]
50                 Source = [SD]
51                 self.Message = "EsquisSons V3"
52         else :
53             if Opt[0][3] == 0 :
54                 self.Message = "EsquisSons V3"
55             else :
56                 self.Message = "Randomly play source"
57             if SpS is None:
58                 SpS = 1
59                 Geo = rs.AddSphere(SL,SpS)
60                 SD = [SP,SL,SpS,Opt[0][2],Opt[0][3]]
61                 Source = [SD]
62             '''else :
63                 Curve = Opt[0][0]
64                 CrvPts = rs.DivideCurveEquidistant(Curve,(SpS*2),
create_points=False,return_points=True)
65                 SL = []
66                 Geo=[]
67                 for point in CrvPts : SL.append(point)
68                 for point in SL : Geo.append(rs.AddSphere(point,SpS
))
69
70                 SD = []
71                 for i in SL :
72                     sSD =[SP,i,SpS,Opt[0][2],Opt[0][3]]
73                     SD.append(sSD)
74                 Source = SD
75         '''
76         print SD
77         return (Geo, Source)

```

## Source Options

```
1 """EsquisSons Source Options allows you to more precisely define a
   source (shuffle, volume, mute etc.)
2 -
3 AAU / Theo Marchal / BETA VERSION / AVRIL2020"""
4
5 from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as
   component
6 import Grasshopper, GhPython
7 import System
8 import Rhino
9 import rhinoscriptsyntax as rs
10
11 class MyComponent(component):
12
13     def RunScript(self, Source_On, RandomizeSource,
14 Manual_Volume_1_100):
15
16         __author__ = "theomarchal"
17         self.Params.Input[0].Description = "Mute the source if set
18 to False (use boolean here)"
19         self.Params.Input[1].Description = "Set chance of playing
20 the source (1/x chance where x is the input)(Int input, if none
21 the source is continuously looped)"
22         self.Params.Input[2].Description = "Manual Volume from 1 to
23 100 (disengage the mainengine calculation for volume if
24 connected - not active if volume is set to 0)"
25         self.Params.Output[0].Description = "Source options (
26 connect to Source component)"
27         self.Name = "Source options"
28         self.NickName = "Source_Opt"
29         self.Message = "EsquisSons V3"
30         self.Category = "EsquisSons"
31         self.SubCategory = "2/ Option"
32
33         import rhinoscriptsyntax as rs
34         import math
35         Son = Source_On
36         Mvol = Manual_Volume_1_100
37         rdm = RandomizeSource
38
39         if Mvol is None :
40             Mvol = 0
41         if Mvol>100:
42             Mvol=100
43         if Mvol<0:
44             Mvol=0
45         if Mvol != 0:
46             Mvol = ((10*math.log10(1+Mvol)))
```

```
41         Mvol = 3.49*Mvol
42     if Son is None :
43         Son = True
44     if Son is False :
45         Mvol = 1
46
47     if rdm is None :
48         rdm = 0
49     if rdm == 1 :
50         rdm = 0
51
52     OptionSource = ['None',Son,Mvol,rdm]
53     OptSource = [OptionSource]
54     return OptSource
```

## Built-in Sounds

```
1
2 """EsquisSons Built-in Sounds provides some basic sounds to start
   your sketch
3 Use a value list to visualize sound names
4 -
5 AAU / Theo Marchal / BETA VERSION / AVRIL2020"""
6
7 from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as
   component
8 import Grasshopper, GhPython
9 import System
10 import Rhino
11 import rhinoscriptsyntax as rs
12
13 class MyComponent(component):
14
15     def RunScript(self, ValueList_gh):
16
17         __author__ = "theomarchal"
18         self.Params.Input[0].Description = "Connect here a
   ValueList component (from Grasshopper) and then select the sound
   you want to use"
19         self.Params.Output[0].Description = "Connect to the
   Source_Path input from the Source Component (EsquisSons)"
20         self.Name = "Built-in Sounds"
21         self.NickName = "Sounds"
22         self.Message = "EsquisSons V3"
23         self.Category = "EsquisSons"
24         self.SubCategory = "2/ Options"
25
26
27
28         import rhinoscriptsyntax as rs
29         import Grasshopper
30         import Grasshopper.Kernel as gh
31
32         rem = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Remark
33         ero = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Error
34         war = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Warning
35
36         Source_Path = ValueList_gh
37
38         Sourcelist = ['Bells', 'Birds', 'Fountain', 'Playground', '
   Urban', 'talk', 'cherokee', 'FemVoice', 'BusyAvenue', 'rainstick', '
   duduk', 'anton', 'vibes-a1']
39         ghdoc2 = self.OnPingDocument()
40         if ValueList_gh is None :
41             self.AddRuntimeMessage(war, 'You must connect a value
   list to choose from the built-in sounds')
```

```
42
43     vallistitems = []
44     valuelist = None
45     for obj in ghdoc2.ActiveObjects():
46         if self.DependsOn(obj):
47             try:
48                 vallistitems = obj.ListItems
49                 valuelist = obj
50             except:
51                 pass
52
53     if valuelist is not None:
54         listnames = []
55         for vitem in vallistitems:
56             listnames.append(vitem.Name)
57         if set(listnames) != set(Sourcelist):
58             vallistitems.Clear()
59             for n in Sourcelist:
60                 try:
61                     int(n)
62                     rhs = n
63                 except ValueError:
64                     rhs = '{}'.format(n)
65                 vallistitems.Add(Grasshopper.Kernel.Special.
GH_ValueListItem(n, rhs))
66                 valuelist.SelectItem(1)
67                 valuelist.Attributes.ExpireLayout()
68                 valuelist.Attributes.PerformLayout()
69     return Source_Path
```

## Launcher

```
1
2 """EsquisSons Launcher
3 Use 2 boolean toggles to launch the app and then start the sound
4   module :)
5 -
6 AAU / Theo Marchal / BETA VERSION / AVRIL2020"""
7 from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as
8   component
9 import Grasshopper, GhPython
10 import System
11 import Rhino
12 import rhinoscriptsyntax as rs
13 class MyComponent(component):
14
15     def RunScript(self, Open_Esquissons, On_Off, Alt_path_Optionnal
16 ):
17
18     __author__ = "theomarchal"
19     self.Params.Input[0].Description = "Boolean input, set True
20   to run the Sound Algorhythm"
21     self.Params.Input[0].Description = "General Status of
22   Esquis'Sons! module"
23     self.Params.Input[1].Description = "Alternative Path to -
24   EsquisSons.exe/app-"
25     self.Name = "EsquisSons Launcher"
26     self.NickName = "Launcher"
27     self.Message = "EsquisSons V3"
28     self.Category = "EsquisSons"
29     self.SubCategory = "0/ EsquisSons"
30     import os
31     import OSC
32     import platform
33     import time
34     import subprocess
35     import Grasshopper.Kernel as gh
36
37     rem = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Remark
38     ero = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Error
39     war = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Warning
40
41     esqpath = Alt_path_Optionnal
42
43     if esqpath is None:
44
45         if platform.system() == 'Windows':
46             #esqpath = os.environ["USERPROFILE"]+'\\Documents\\
```

```

EsquisSons\EquisSons.exe'
44     esqpath = os.getenv('APPDATA')+'\Grasshopper\
Libraries\EquisSons\EquisSons.exe'
45
46     if platform.system() == 'Darwin':
47         esqpath = '/applications/EquisSons.app'
48
49     c = OSC.OSCClient()
50     d = OSC.OSCClient()
51     c.connect(('127.0.0.1', 58234))
52     oscmsg = OSC.OSCMessage()
53     oscmsg.append("no message")
54     oscmsg.append("no int")
55
56     if Open_Esquissons == True :
57         try :
58             if platform.system() == 'Windows':
59                 os.startfile(esqpath)
60                 error = ''
61             if platform.system() == 'Darwin':
62                 subprocess.call(['open', esqpath])
63                 error = ''
64         except :
65             error = 'True'
66         if error == 'True' :
67             self.AddRuntimeMessage(war, "EsquisSons can't be
open ! "+esqpath+' can not be found Please check the
installation !')
68             self.Message = "EsquisSons is OFF"
69         else :
70             if On_Off == True :
71                 oscmsg[1] = 1
72                 oscmsg[0] = "EsquisSons\\ is\\ Online!\\ Let's
\\ make\\ some\\ noise"
73                 self.AddRuntimeMessage(rem, 'EsquisSons! is
Online ! Lets make some noise !')
74                 self.Message = "EsquisSons is ON"
75             else :
76                 oscmsg[0] = 'EsquisSons\\ is\\ not\\ Online\\
turn\\ it\\ on\\ (in\\ Gh)\\ to\\ start\\ the\\ sketch'
77                 self.AddRuntimeMessage(war, 'EsquisSons app
should be open ! Now turn it ON with a boolean Toogle (On_Off
input)!')
78                 self.Message = "Almost there : Turn it on !"
79         else :
80             if On_Off is True :
81                 oscmsg[1] = 1
82                 oscmsg[0] = "EsquisSons\\ is\\ Online!\\ Let's\\
make\\ some\\ noise"
83                 self.AddRuntimeMessage(war, 'Message sent,
EsquisSons should be online but...Check if Esquissons app is

```

```
open ! (if not, use the Open_esquissons input with boolean
toggle ;)')
84     self.Message = "EsquisSons is ON"
85     else :
86         self.AddRuntimeMessage(ero, 'EsquisSons is not
Online and probably not Open, You should Open_esquissons, then
turn it On with On_Off !')
87         oscmsg[0] = "EsquisSons\\ is\\ not\\ Online\\ turn
\\ it\\ on\\ (in\\ Gh)\\ to\\ start\\ the\\ sketch"
88         oscmsg[1] = "0"
89         self.Message = "EsquisSons is OFF"
90
91
92
93     c.send(oscmsg)
94     return
```

## Visualize Reflections

```

1
2 """Visualize Reflexion close to listener.
3 Use Visualize Output of "EsquisSons Main engine" :)
4 <WORKS ONLY WITH UNTRIMMED BREP OR SURFACES / You may encounter
   some bugs in semi-closed volumes>
5 -
6 AAU / Theo Marchal / BETA VERSION / MARS2020"""
7
8 from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as
   component
9 import Grasshopper, GhPython
10 import System
11 import Rhino
12 import rhinoscriptsyntax as rs
13
14 class MyComponent(component):
15
16     def RunScript(self, Vi, NnbrOfRay, NnbrOfRef, Tolerance):
17
18         __author__ = "theomarchal"
19         self.Params.Input[0].Description = "Visualize (from
   esquissons main engine)"
20         self.Params.Input[1].Description = "Definition/number of
   ray (1-100)<default=10>"
21         self.Params.Input[2].Description = "Level of reflexion/
   number of bounces(1-10)<default=2>"
22         self.Params.Input[3].Description = "Ray Distance to
   listener tolerance (0.1-1.0)<default=0.5>"
23         self.Params.Output[0].Description = "Reflexion Rays"
24         self.Name = "Visualize Reflections"
25         self.NickName = "Visualize Rays"
26         self.Message = "EsquisSons V3"
27         self.Category = "EsquisSons"
28         self.SubCategory = "2/ Visualization"
29         Def = NnbrOfRay
30         Level = NnbrOfRef
31         Dist = Tolerance
32         import rhinoscriptsyntax as rs
33         import Grasshopper.Kernel as gh
34
35         rem = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Remark
36         ero = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Error
37         war = gh.GH_RuntimeMessageLevel.Warning
38
39
40         if Def == None :
41             Def = 10
42         if Level == None :
43             Level =2

```

```

44     if Dist == None :
45         Dist = 0.5
46     try:
47         Ge =Vi[0]
48     except:
49         self.AddRuntimeMessage(ero, 'A "Vi" ouptut from main
engine must be connected !')
50         raise Exception('noInput')
51     Lis =Vi[1]
52     Src =Vi[2]
53     udiv = Def
54     vdiv = Def
55     Pt_L = Lis [0][0]
56     Pt_R = Lis [0][2]
57     srf = []
58     FirstRay = []
59     SecondRay = []
60     First_RefPoint = []
61     drawray =[]
62     for i in Ge :
63         srf.append(i[0])
64     for i in Src :
65         sph =(rs.AddSphere(i[1],i[2]))
66         Src_pt =(i[1])
67         u = rs.SurfaceDomain(sph,0)
68         v = rs.SurfaceDomain(sph,1)
69         pts = []
70         for i in range(0, udiv+1, 1):
71             for j in range(0, vdiv+1, 1):
72                 pt = (i/udiv,j/vdiv,0)
73                 sphP = rs.SurfaceParameter(sph,pt)
74                 newpt = rs.EvaluateSurface(sph,sphP[0],sphP[1])
75                 pts.append(rs.AddPoint(newpt))
76         Dir = []
77         for p in pts:
78             Dir.append(rs.VectorCreate(p,Src_pt))
79         Reflexion = []
80         for d in Dir :
81             Reflexion.append(rs.ShootRay(srf,Src_pt,d,
reflections=Level))
82         SourceRay = []
83         for v in Reflexion :
84             Cl_Pt = []
85             Ray_v = []
86             try :
87                 Ray_v.append(rs.AddPolyline(v))
88             except :
89                 pass
90         for u in Ray_v :
91             pt_on = rs.CurveClosestPoint (u,Pt_L)
92             cl = rs.EvaluateCurve(u,pt_on)

```

```
93         Dic1 = (rs.Distance(Pt_L,c1))
94         if Dic1 <= ((Lis [0])[3])*Dist:
95             try:
96                 drawray.append(u)
97             except:
98                 pass
99         if len(drawray) == 0 :
100             self.AddRuntimeMessage(war, 'No ray, please be sure
Geometries are connected to main engine and placed to create
reflexions')
101             self.AddRuntimeMessage(war, 'Change parameters to
generate more rays')
102             Rays = None
103         else :
104             Rays = drawray
105         return Rays
```

### A.3.2 Plug-in Max/MSP

Application compilée grâce à Max MSP au format MaxPat. Version simplifiée du code source disponible en entier sur le Github de l'outil (*plus de 200 pages*) :

[https://github.com/TheoArchi/EsquisSons/blob/master/EsquissonsAPP\\_uncompiled\\_forMAXmsp/Esquissons\\_3\\_Mars2020.maxpat](https://github.com/TheoArchi/EsquisSons/blob/master/EsquissonsAPP_uncompiled_forMAXmsp/Esquissons_3_Mars2020.maxpat)

(page consultée le 27 septembre 2021)

```
1 {
2   "patcher" : {
3     "fileversion" : 1,
4     "appversion" : {
5       "major" : 8,
6       "minor" : 1,
7       "revision" : 1,
8       "architecture" : "x64",
9       "modernui" : 1
10    }
11  },
12  "classnamespace" : "box",
13  "rect" : [ 231.0, 172.0, 854.0, 663.0 ],
14  "bglocked" : 0,
15  "openinpresentation" : 1,
16  "default_fontsize" : 12.0,
17  "default_fontface" : 0,
18  "default_fontname" : "Arial",
19  "gridonopen" : 1,
20  "gridsize" : [ 15.0, 15.0 ],
21  "gridsnaponopen" : 1,
22  "objectsnaponopen" : 1,
23  "statusbarvisible" : 2,
24  "toolbarvisible" : 1,
25  "lefttoolbarpinned" : 0,
26  "toptoolbarpinned" : 0,
27  "righttoolbarpinned" : 0,
28  "bottomtoolbarpinned" : 0,
29  "toolbars_unpinned_last_save" : 0,
30  "tallnewobj" : 0,
31  "boxanimatetime" : 200,
32  "enablehscroll" : 1,
33  "enablevscroll" : 1,
34  "devicewidth" : 0.0,
35  "description" : "",
36  "digest" : "",
37  "tags" : "",
38  "style" : "",
39  "subpatcher_template" : "",
40  "boxes" : [ ]
41  "parameters" : {
```

```

42     "obj-474" : [ "Left Level[11]", "L Level", 0 ],
43     "obj-346" : [ "Right level[2]", "R Level", 0 ],
44     "obj-383" : [ "Right level[11]", "R Level", 0 ],
45     "obj-302" : [ "Source Volume[7]", "Source Volume", 0 ],
46     "obj-265" : [ "Source Volume[6]", "Source Volume", 0 ],
47     "obj-345" : [ "Left Level[8]", "L Level", 0 ],
48     "obj-382" : [ "Left Level[9]", "L Level", 0 ],
49     "obj-19" : [ "GAIN", "GAIN", 0 ],
50     "obj-203" : [ "Volume[7]", "Volume", 0 ],
51     "obj-231" : [ "Volume[8]", "Volume", 0 ],
52     "obj-407" : [ "Volume[13]", "Volume", 0 ],
53     "obj-263" : [ "Volume[9]", "Volume", 0 ],
54     "obj-151" : [ "Volume[5]", "Volume", 0 ],
55     "obj-439" : [ "Right level[3]", "R Level", 0 ],
56     "obj-408" : [ "Source Volume[15]", "Source Volume", 0 ],
57     "obj-126" : [ "Volume[4]", "Volume", 0 ],
58     "obj-509" : [ "Right level[6]", "R Level", 0 ],
59     "obj-206" : [ "Source Volume[5]", "Source Volume", 0 ],
60     "obj-441" : [ "Source Volume[10]", "Source Volume", 0 ],
61     "obj-99" : [ "Volume[3]", "Volume", 0 ],
62     "obj-73" : [ "Volume[2]", "Volume", 0 ],
63     "obj-477" : [ "Source Volume[11]", "Source Volume", 0 ],
64     "obj-511" : [ "Source Volume[12]", "Source Volume", 0 ],
65     "obj-48" : [ "Volume[1]", "Volume", 0 ],
66     "obj-300" : [ "Right level[1]", "R Level", 0 ],
67     "obj-262" : [ "Right level[8]", "R Level", 0 ],
68     "obj-101" : [ "Right level[10]", "R Level", 0 ],
69     "obj-104" : [ "Source Volume[4]", "Source Volume", 0 ],
70     "obj-348" : [ "Source Volume[8]", "Source Volume", 0 ],
71     "obj-299" : [ "Left Level[7]", "L Level", 0 ],
72     "obj-21" : [ "Volume", "Volume", 0 ],
73     "obj-385" : [ "Source Volume[9]", "Source Volume", 0 ],
74     "obj-404" : [ "Right level[5]", "R Level", 0 ],
75     "obj-261" : [ "Left Level[6]", "L Level", 0 ],
76     "obj-204" : [ "Right level[7]", "R Level", 0 ],
77     "obj-438" : [ "Left Level[10]", "L Level", 0 ],
78     "obj-475" : [ "Right level[4]", "R Level", 0 ],
79     "obj-508" : [ "Left Level[12]", "L Level", 0 ],
80     "obj-403" : [ "Left Level[14]", "L Level", 0 ],
81     "obj-202" : [ "Left Level[5]", "L Level", 0 ],
82     "obj-100" : [ "Left Level[4]", "L Level", 0 ],
83     "parameterbanks" :      {
84
85     }
86
87 }
88 ,
89     "dependency_cache" : [      {
90         "name" : "pan2.maxpat",
91         "bootpath" : "~/Library/Application Support/Cycling '74/Max
8/Examples/spatialization/panning/lib",

```

```
92     "patcherrelativepath" : "../../../../../Library/Application
Support/Cycling '74/Max 8/Examples/spatialization/panning/lib",
93     "type" : "JSON",
94     "implicit" : 1
95   }
96 ,
97   {
98     "name" : "Bells.aif",
99     "bootpath" : "~/Qsync/CRESSON/Esquis 'Son/V3.0/SONS_V3/
EGAL_VOLUME",
100     "patcherrelativepath" : "./SONS_V3/EGAL_VOLUME",
101     "type" : "AIFF",
102     "implicit" : 1
103   }
104 ,
105   {
106     "name" : "Birds.aif",
107     "bootpath" : "~/Qsync/CRESSON/Esquis 'Son/V3.0/SONS_V3/
EGAL_VOLUME",
108     "patcherrelativepath" : "./SONS_V3/EGAL_VOLUME",
109     "type" : "AIFF",
110     "implicit" : 1
111   }
112 ,
113   {
114     "name" : "BusyAvenue.aif",
115     "bootpath" : "~/Qsync/CRESSON/Esquis 'Son/V3.0/SONS_V3/
EGAL_VOLUME",
116     "patcherrelativepath" : "./SONS_V3/EGAL_VOLUME",
117     "type" : "AIFF",
118     "implicit" : 1
119   }
120 ,
121   {
122     "name" : "Fountain.aif",
123     "bootpath" : "~/Qsync/CRESSON/Esquis 'Son/V3.0/SONS_V3/
EGAL_VOLUME",
124     "patcherrelativepath" : "./SONS_V3/EGAL_VOLUME",
125     "type" : "AIFF",
126     "implicit" : 1
127   }
128 ,
129   {
130     "name" : "Playground.aif",
131     "bootpath" : "~/Qsync/CRESSON/Esquis 'Son/V3.0/SONS_V3/
EGAL_VOLUME",
132     "patcherrelativepath" : "./SONS_V3/EGAL_VOLUME",
133     "type" : "AIFF",
134     "implicit" : 1
135   }
136 ,
137   {
138     "name" : "Urban.aif",
139     "bootpath" : "~/Qsync/CRESSON/Esquis 'Son/V3.0/SONS_V3/
EGAL_VOLUME",
140     "patcherrelativepath" : "./SONS_V3/EGAL_VOLUME",
141     "type" : "AIFF",
```

```
136     "implicit" : 1
137   }
138 ,
139   {
140     "name" : "anton.aif",
141     "bootpath" : "C74:/media/msp",
142     "type" : "AIFF",
143     "implicit" : 1
144   }
145 ,
146   {
147     "name" : "talk.aiff",
148     "bootpath" : "C74:/media/jitter",
149     "type" : "AIFF",
150     "implicit" : 1
151   }
152 ,
153   {
154     "name" : "rainstick.aif",
155     "bootpath" : "C74:/media/msp",
156     "type" : "AIFF",
157     "implicit" : 1
158   }
159 ,
160   {
161     "name" : "cherokee.aif",
162     "bootpath" : "C74:/media/msp",
163     "type" : "AIFF",
164     "implicit" : 1
165   }
166 ,
167   {
168     "name" : "vibes-a1.aif",
169     "bootpath" : "C74:/media/msp",
170     "type" : "AIFF",
171     "implicit" : 1
172   }
173 ,
174   {
175     "name" : "FemVoice.aif",
176     "bootpath" : "C74:/patchers/m4l/Pluggo for Live resources/
177 samples",
178     "type" : "AIFF",
179     "implicit" : 1
180   }
181 ,
182   {
183     "name" : "duduk.aif",
184     "bootpath" : "C74:/media/msp",
185     "type" : "AIFF",
186     "implicit" : 1
187   }
188 ],
189 "autosave" : 0
190 }
```



## A.4 Quatrième annexe : Productions et lexique audio

Toutes les productions qui suivent ont été réalisées avec *EsquisSons*, que ce soit par des utilisateurs lors des ateliers, ou par l'auteur pour le lexique qui illustre le solfège.

### A.4.1 L'effet de réverbération

Production illustrative de l'effet de réverbération esquissé avec *EsquisSons*

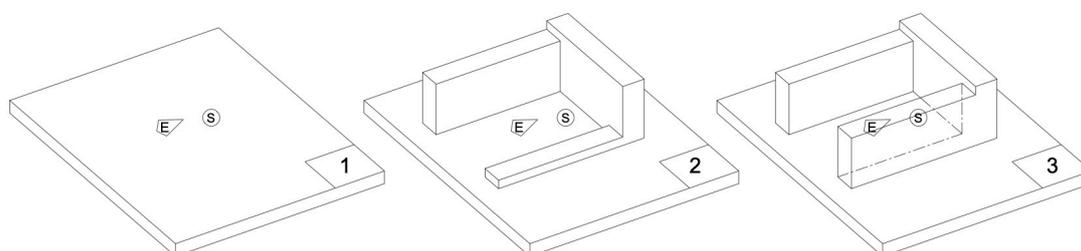


FIGURE 3 – 3 situations d'écoutes pour illustrer l'effet de réverbération

Repères temporels		
Champ libre (0'00>0'30)	Réverbération moyenne - cœur d'îlot ouvert (0'30>1'00)	Réverbération forte - cœur d'îlot fermé (1'00>1'30)
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
septembre 2021	Théo Marchal	pas de localisation



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/01\\_Reverberation.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/01_Reverberation.mp3)

## A.4.2 L'effet de coupure

Production illustrative de l'effet de coupure esquissé avec *EsquisSons*

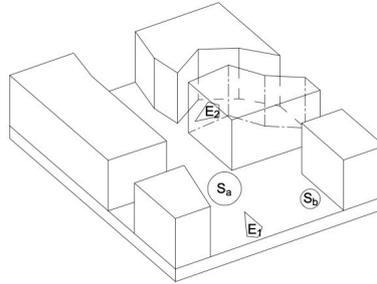


FIGURE 4 – 2 positions d'écoutes pour illustrer l'effet de coupure dans une configuration urbaine

Repères temporels		
écoute depuis le point 1, espace ouvert (0'00>0'28)	écoute depuis le point 2, rue à angle droit et effet de coupure (0'28>1'00)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
septembre 2021	Théo Marchal	pas de localisation



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/02\\_Coupure.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/02_Coupure.mp3)

### A.4.3 L'effet de masquage - démasquage

Production illustrative de l'effet de masquage esquissé avec *EsquisSons*

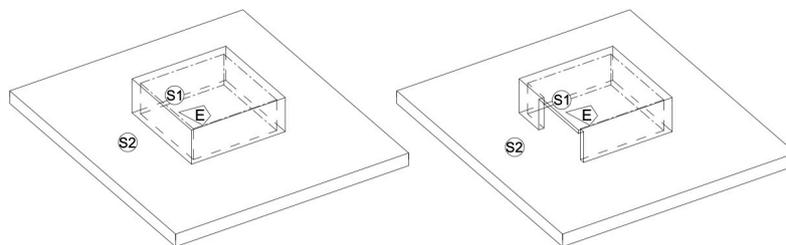


FIGURE 5 – 2 morphologies différentes qui par l'ouverture sur une source plus forte permettent d'illustrer l'effet de masque

Repères temporels		
Morphologie fermée et voix qui énonce des lettres (0'00>0'28)	Morphologie ouverte sur un fond urbain beaucoup plus fort (0'28>1'00)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
septembre 2021	Théo Marchal	pas de localisation



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/03\\_Masque.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/03_Masque.mp3)

### A.4.4 L'effet de filtrage

Production illustrative de l'effet de filtrage esquisé avec *EsquisSons*

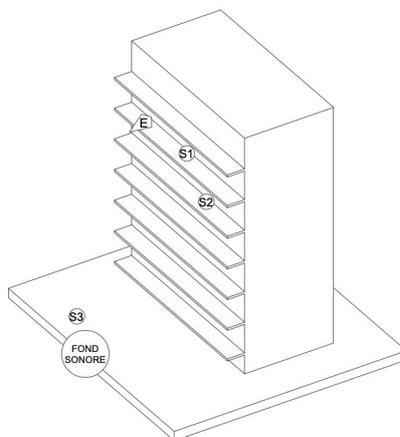


FIGURE 6 – 3 positions d'une source pour illustrer l'effet de filtrage

Repères temporels		
Source sur le balcon adjacent (0'00>0'11)	Source sur le balcon en dessous (0'11>0'21)	Source au niveau du sol (0'21>0'32)
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
septembre 2021	Théo Marchal	pas de localisation



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/04\\_Filtre.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/04_Filtre.mp3)

### A.4.5 L'effet de métabole

Production illustrative de l'effet de métabole esquissé avec *EsquisSons*

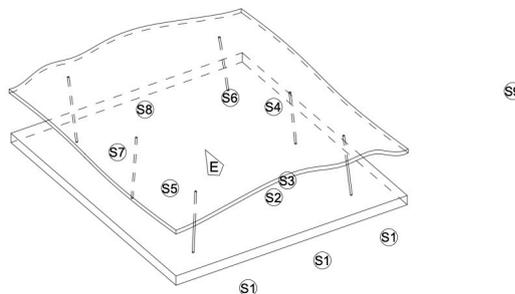


FIGURE 7 – Différentes sources et une configurations spatiale ouverte et réverbérante pour illustrer l'effet de métabole

Repères temporels		
Écoute continue (0'00>1'00)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
septembre 2021	Théo Marchal	pas de localisation



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/05\\_Metabole.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/05_Metabole.mp3)

### A.4.6 L'effet de distance

Production illustrative de l'effet de distance esquissé avec *EsquisSons*

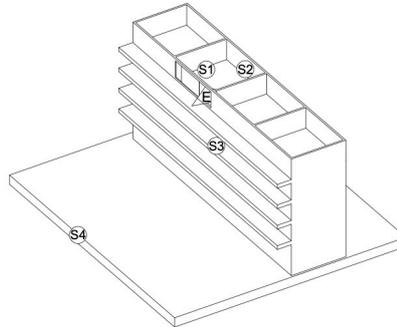


FIGURE 8 – Différentes sources domestiques, du voisinage ou de la ville à partir d'une position entre l'intérieur et l'extérieur pour illustrer les rapports possibles de proche et de lointain sonore

Repères temporels		
Écoute continue (0'00>0'46)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
septembre 2021	Théo Marchal	pas de localisation



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/06\\_Distance.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/06_Distance.mp3)

### A.4.7 L'effet de présence

Production illustrative de l'effet de présence esquissé avec *EsquisSons*

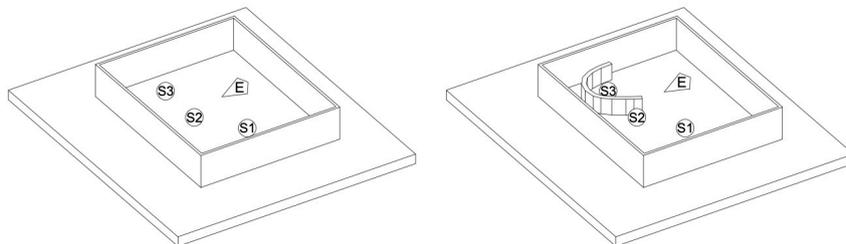


FIGURE 9 – Une configuration spatiale simple et trois sources, puis ajout d'un dispositif spatial réverbérant et focalisant qui illustre l'effet de présence sur une voix

Repères temporels		
Configuration initiale - écoute équilibrée entre les trois sources (0'00>0'31)	Ajout d'un dispositif spatial focalisant et réverbérant autour de la source vocale (0'31>1'02)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
septembre 2021	Théo Marchal	pas de localisation



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/07\\_Presence.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/07_Presence.mp3)

### A.4.8 Carnets de Terrain - École d'hiver 2017

Productions issues de l'école thématique du laboratoire AAU/CRESSON "Tours et cours dans l'espace urbaine dense" (*Organisateurs : Théo Marchal, Noha Said Gamal*)

#### « Dynamique du présent, sonorités d'avenir »

Repères temporels		
Écoute continue (0'00>2'40)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Monique Bolli, Elsa Lebrun, Perrine Poupin, Xiyuan Zhang, Théo Marchal, Noha Gamal Said	Janvier 2017	45.166845593573186, 5.725501497887318



[http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/08\\_DynamiqueduPresentSonoritesdAvenir.mp3](http://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/08_DynamiqueduPresentSonoritesdAvenir.mp3)

#### « In TERRE action »

Repères temporels		
Situation actuelle (0'00>0'51)	Esquisse de la nouvelle rue piétonne (1'05>1'30)	Entrée dans un cœur d'îlot : articulation entre deux environnements (1'30 > 1'45)
Esquisse du cœur d'îlot, jardins partagés (1'45>2'30)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Abdelaziz Barkani, Sebastien De Pertat, Bastien Lambert, Ummuhan Ozturk, Théo Marchal, Noha Gamal Said	Janvier 2017	45.16573389953904, 5.725518172944957



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/09\\_InTerreActions.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/09_InTerreActions.mp3)

## « Variation en suspension »

Repères temporels		
Départ de la rue Lorrenzachio et prise de hauteur sur la passerelle (0'00<1'00)	Passage au-dessus de l'école (1'00>1'35)	Traversée d'un immeuble (1'35>2'00)
Traversée d'un îlot (2'00>2'18)	Sortie de l'îlot (2'18>2'32)	Cheminement vers le parc (2'32>3'15)
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Sammy Benhis, Zoé Chalaux, Jérémy Di Stefano, Fanny Kubenka, Théo Marchal, Noha Gamal Said	Janvier 2017	45.16540788827841, 5.724176196549092



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/10\\_VariationsEnSuspension.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/10_VariationsEnSuspension.mp3)

## « Amers sonores »

Repères temporels		
Écoute continue Avenue la Bruyère puis Allée des romantiques (0'00>3'40)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Sara Ben Romdhane, Leonard Contramestre, Bertillia de Baudinière, Théo Marchal, Noha Gamal Said	Janvier 2017	45.16653365478081, 5.727791399537685



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/11\\_AmersSonores.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/11_AmersSonores.mp3)

## « Le banc volant »

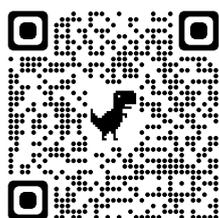
Repères temporels		
Élévation de l'écoute aux différents étages de la tour au-dessus d'un ballon sans fond sonore (0'00>1'12)	Prise de hauteur au-dessus d'une école + fond sonore urbain (1'13>2'38)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Marie-Caroline Conin, Laëtitia Chamekh, Sami Ramzi Chibane, Mylène Le Lamer, Théo Marchal, Noha gamal Said	Janvier 2017	45.16026522900098, 5.726300329007798



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/12\\_LeBancVolant.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/12_LeBancVolant.mp3)

## « De la fontaine au marché »

Repères temporels		
Écoute continue, balade sonore dans un quartier transformé (0'00>3'18)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Sylvain Biquand, Julie Debarbieux, Simon Thibert, Théo Marchal, Noha Gamal Said	Janvier 2017	45.16601142309618, 5.726787054506789



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/13\\_DelaFontaineauMarche.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/13_DelaFontaineauMarche.mp3)

### A.4.9 Option « design sonore et acoustique architecturale » 2017/18

Productions issues du module optionnel à destination des étudiants en master 2 de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble (*Equipe pédagogique : Grégoire Chelkoff, Théo Marchal*)

#### « Porte des berges »

Repères temporels		
Traversée de la "porte" du tram (ouest) vers la place (0'00>0'32)	Sur la place, entre le skatepark et les jeux (0'32>1'04)	Cote Skatepark (1'04>1'20)
On monte en haut du dispositif (1'20>1'44)	Côté jeux (1'44>2'04)	On s'éloigne vers la ville à l'est (2'04>2'48)
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Nadia Castagnes, Jordan Vernizeau, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2017	45.19577010989, 5.7170287094316965



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/14\\_PorteDesBerges.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/14_PorteDesBerges.mp3)

#### « Morphologies urbaines »

Repères temporels		
Cour intérieure (0'00>0'24)	Passage entre la cour et la rue (0'24>0'40)	Configuration ouverte, déplacement depuis l'extérieur vers l'intérieur de la cour (0'40>1'16)
Promenade, depuis la rue (1'16>1'30)	Articulation. entre la cour et la rue, passage étroit (1'30>1'43)	Entrée dans la cour (1'43>1'56)
Dans la cour (1'56>2'09)	Passage étroit de sortie (2'09>2'20)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Sarah Bengoua, Lucie Rousset, Lucie Perrier, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2017	45.19624043205185, 5.718308075780253



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/15\\_MorphologiesUrbaines.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/15_MorphologiesUrbaines.mp3)

## « Une Halle à deux faces »

Repères temporels		
Entrée dans la halle ouest (0'00>0'11)	Traversée de la halle et du skatepark (0'11>0'32)	Entrée dans le passage ouvert (0'32>0'59)
Entrée dans la halle Est marché (0'59>1'23)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Alex Franz, Lucie Gianno, Chalres Grognot, Yassin Ibn Lahmar Andaloussi, Tom Tallon, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2017	45.1974893093173, 5.71668625648029



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/16\\_LaHalleaDeuxFaces.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/16_LaHalleaDeuxFaces.mp3)

## « La place aux arbres »

Repères temporels		
Entrée sur la place (0'00>0'06)	Arbre 1 (0'06>0'14)	Arbre 2 (0'14>0'21)
Arbre 3 (0'21>0'28)	Arbre 4 (0'28>0'35)	Sortie vers la route (0'35>0'42)
Déplacement devant et derrière un arbre (0'43>1'00)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Sandrine Robert, Alae Sayah, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2017	45.194593459743466, 5.717996584839813



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/17\\_PlaceAuxArbres.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/17_PlaceAuxArbres.mp3)

### A.4.10 Option « design sonore et acoustique architecturale » 2018/19

Productions issues du module optionnel à destination des étudiants en master 2 de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble (*Equipe pédagogique : Gregoire Chelkoff, Théo Marchal*)

#### « Creuser et s'étendre »

Repères temporels		
Terrasse sur coeur d'îlot - 1er étage (0'00>0'30)	Terrasse sur coeur d'îlot - 10eme étage (0'30>1'00)	Balcon sur rue - 9eme étage (1'02>1'52)
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Salomé Bergsma, Margaux Regalia, Laura Tinas, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2018	45.18035379346795, 5.709273159728233



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/18\\_CreuserEtsEtendre.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/18_CreuserEtsEtendre.mp3)

#### « Se rassembler et s'isoler »

Repères temporels		
Dernier étage, garde-corps proche et balcon simple (0'00>0'21)	Dernier étage, garde-corps éloigné balcon plus profond (0'22>0'43)	Dernier étage, balcon profond proche du garde-corps (0'44>1'05)
Balcon en rez-de-chaussée (1'06>1'46)	Deuxième façade, balcon individuel simple (1'48>2'04)	Même configuration avec des garde-corps plus hauts sur les côtés pour s'isoler du voisin (2'06>2'26)
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Tiphanie Le borgne, Océane Obringer, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2018	45.38653667703444, 4.282764830000693



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/19\\_SeRassemblerEtsIsoler.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/19_SeRassemblerEtsIsoler.mp3)

## « Variation de gardes-corps »

Repères temporels		
3eme étage, balcon couvert peu profond (0'00>0'16)	3eme étage, balcon ouvert et plus profond (0'16>0'33)	10eme étage, balcon couvert peu profond (0'34>0'50)
10eme étage, balcon ouvert et plus profond (0'51>1'06)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Audrey Arnoud, Cedric Daniel, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2018	45.18035379346795, 5.709273159728233



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/20\\_VariationDeGardecorps.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/20_VariationDeGardecorps.mp3)

## « Espaces tampons »

Repères temporels		
Écoute depuis la rue (0'00>0'16)	Terrasse au 5eme étage (0'17>0'33)	Terrasse au 10eme étage (0'34>1'00)
Loggia au 5eme étage (1'02>1'34)	Loggia au 10eme étage (1'35>2'15)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Louise Mary, Raphaëlle Ruiz, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2018	45.18035379346795, 5.709273159728233



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/21\\_EspacesTampons.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/21_EspacesTampons.mp3)

## « Balcons modulés »

Repères temporels		
Balcon avec variation de profondeur (0'00>0'32)	Balcon avec variation de profondeur + séparation (0'32>1'04)	Balcon avec variation de profondeur + séparation + variation de hauteur des garde-corps (1'04>1'36)
Balcon avec variation de profondeur + séparation + variation de hauteur des garde-corps + ajout d'une « casquette » supérieure (1'36>2'08)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
William Haudin, Lucas Munoz, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2018	45.38653667703444, 4.282764830000693



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/22\\_BalconsModules.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/22_BalconsModules.mp3)

## Des balcons traversants

Repères temporels		
Situation actuelle esquissée (0'00>0'45)	Ouvertures Traversantes dans les circulations verticales (0'45>1'30)	Création des coursives (1'30>2'14)
Écoute depuis le centre de l'îlot au niveau du sol (2'14>3'00)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Samy Attari, Hugo Larroche, Lauris Nomine, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2018	45.17937553369246, 5.745701376714315



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/23\\_DesBalconsTraversants.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/23_DesBalconsTraversants.mp3)

## Articulations de balcons

Repères temporels		
Esquisse de la situation existante, passage entre deux immeubles de l'îlot (0'00>0'32)	Esquisse de la situation existante, depuis le coeur d'îlot (0'32>1'04)	Esquisse avec le dispositif de pignon/balcon, depuis le coeur d'îlot (1'04>1'36)
Esquisse avec le dispositif de pignon/balcon, depuis le passage entre deux immeubles (1'36>2'00)	/	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Andrea Giraud, Anne Louise Raharijaona, Théo Marchal, Grégoire Chelkoff	Septembre 2018	45.17937553369246, 5.745701376714315



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/24\\_ArticulationsDeBalcons.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/24_ArticulationsDeBalcons.mp3)

### A.4.11 La balade sonore revisitée

Productions issues d'une balade sonore proposée dans le cadre d'un séminaire scientifique du laboratoire AAU/CRESSON à Grenoble (*Organisateur : Théo Marchal*)

#### Situation 1 - La maison du tourisme

Repères temporels		
Esquisse de la situation actuelle (0'00>1'30)	Esquisse de la place sans la maison du tourisme (1'30>3'00)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Théo Marchal	Janvier 2018	45.19058927155966, 5.729099034933641



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/25\\_MaisonDuTourisme.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/25_MaisonDuTourisme.mp3)

## Situation 2 - La grande rue

Repères temporels		
Esquisse de la situation actuelle (0'00>1'30)	Esquisse de la rue avec la couverture (1'30>3'00)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Théo Marchal	Janvier 2018	45.192068990120795, 5.728636913562948



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/26\\_GrandeRue.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/26_GrandeRue.mp3)

## Situation 3 - La place Saint-André

Repères temporels		
Esquisse de la situation actuelle (0'00>1'30)	Esquisse de la place sans le palais du parlement au nord (1'30>3'00)	/
Informations		
Date	Auteur(s)	Localisation
Théo Marchal	Janvier 2018	45.19304192123377, 5.72841703060855



[https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/27\\_PlaceSaintAndre.mp3](https://cressound.grenoble.archi.fr/son/THMarchal/27_PlaceSaintAndre.mp3)

Cette thèse de doctorat en architecture s'inscrit dans le champ des recherches sur les phénomènes sensibles et les environnements vécus menées par le laboratoire AAU et l'équipe CRESSON depuis plusieurs années. Ce travail a plus spécifiquement pour objet l'étude de l'espace sonore en tant que paramètre de l'environnement physique et de la qualité de vie des espaces qui y sont associés. Ainsi, partant de l'espace sonore, nous avons tenté d'élargir les interrogations induites par la prise en compte des phénomènes physiques afin d'y faire rentrer d'autres considérations tout aussi importantes pour la qualité des espaces vécus - à travers le lien social, la notion d'intimité, les rapports de perceptions proches et lointaines ou plus largement l'enjeu de l'expérience subjective, toujours en relation avec le contexte environnant.

Nous avons pour objectif de tester dans quelle mesure le son peut être un médium approprié à une prise en compte plus large des ambiances dans la conception architecturale en favorisant une posture -au sens propre comme au sens figuré- du concepteur. Ceci lui confère une autre relation avec l'environnement projeté en décadrant son rapport au projet. Le développement d'un outil numérique et les interrogations que cela suscite nous pousseront également à envisager l'apparition des nouveaux outils de conception et d'évaluation numériques dans l'environnement du concepteur spatial comme un élément potentiel de redéfinition des modes de projet en renouvelant une réflexion sur la qualité des ambiances et des espaces vécus.

Pour cela, nous avons développé un logiciel appelé « *EsquisSons* » permettant d'esquisser l'environnement sonore. Il a été testé à travers des expérimentations en contexte qui ont pris la forme d'ateliers ou d'expériences impliquées. Cela nous a permis de parcourir et de questionner le processus du projet architectural de la conception jusqu'à l'évaluation à travers les prismes du sonore et de l'outil numérique "en acte" ; ce qui se traduit par les questions suivantes : *Comment le son peut-il être associé à un ou des vecteurs particuliers de prise en compte des espaces vécus au-delà des évaluations quantitatives acoustiques traditionnelles ?* et : *Quels peuvent-être la place et le potentiel de l'outil numérique dans une perspective de prise en compte des ambiances dans le projet architectural ?*

Nous avons choisi de répondre à ces questions à travers l'observation de trois corpus, tous associés à l'outil. C'est l'outil lui-même qui constitue le premier corpus, il s'agit d'analyser et d'explicitier ses évolutions du début à la fin de la recherche. Le second corpus est constitué des observations menées lors des ateliers et des productions des participants. Le troisième et dernier corpus regroupe les autres expériences que nous avons pu mener avec *EsquisSons* en dehors des ateliers et qui nous sont apparues pertinentes pour appuyer nos observations. Les différents temps de progression du développement de l'outil, à travers les questionnements, les améliorations, les ajouts dont il a fait l'objet, ainsi que l'analyse des observations menées concernant son utilisation nous ont permis de tester nos hypothèses et de montrer le potentiel mais aussi les limites des outils numériques et du sonore pour la conception architecturale dans une perspective sensible.

#### Mots-Clefs :

Ambiances, Espace sonore, Acoustique, Outils numériques, Aide à la conception,  
Expérience sensible, Espace, Architecture, Outils paramétriques