

Rapport de stage – Vincent GERMAIN

01 Février 2012 – 23 Mars 2012

Aix-Marseille Université

Licence 3 – Physique-Chimie
parcours Physique

Année universitaire 2011 - 2012

Création d'une banque de sons d'impact

— Organisme d'accueil —

Centre National de la Recherche Scientifique
Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (L.M.A.) (UPR-7051)
Equipe Modélisation, Synthèse et Contrôle des Signaux Sonores et Musicaux — S2M

31 Chemin Joseph Aiguier
13402 Marseille Cedex 20

Maîtres de stage

- Richard KRONLAND-MARTINET — Directeur de recherches au L.M.A.
- Mitsuko ARAMAKI — Chargée de recherches au L.M.A.



Table des matières

Introduction	4
1 L'équipe S2M et le projet MetaSon	5
1.1 La plateforme de synthèse	6
1.1.1 Possibilités actuelles de la plateforme de synthèse	6
1.1.2 Évolution future de la plateforme de synthèse	6
1.2 L'action perçue	7
1.3 Le matériau et la forme perçus	7
2 Création de la Banque de sons d'impact	8
2.1 Protocole d'enregistrement des sons d'impact	9
2.1.1 La chambre sourde (ou salle anéchoïque)	9
2.1.2 Le marteau-force	9
2.1.3 Le microphone	9
2.1.4 La carte son externe	9
2.1.5 L'ordinateur et le logiciel	10
2.1.6 L'appareil photo	10
2.1.7 Comment tenir l'objet?	11
2.2 Problèmes rencontrés	11
2.2.1 Changement de nomenclature	11
2.2.2 Objets ambigus	11
2.2.3 Objets introuvables	11
2.2.4 Bruits parasites	11
2.2.5 Multiples impacts	12
2.2.6 Matlab	12
2.2.7 Problèmes rencontrés	12
2.3 Résultats	13
2.4 Autres travaux	13
Conclusion	14

Remerciements

Avant toute chose je tiens à remercier Richard et Mitsuko de m'avoir donné la possibilité de faire ce stage de sept semaines dans l'équipe S2M.

Je remercie aussi Thierry pour sa patience avec les soucis de fil du marteau-force.

Merci à toutes les personnes de l'équipe S2M et particulièrement Adrien, Sølvi, Charles, Simon, Étienne pour m'avoir aidé dès que j'en avais besoin et à Camille pour m'avoir permis de voir une application directe de mon travail.

Et enfin merci à toutes les personnes que j'ai eu la chance de rencontrer pour leur bonne humeur tout au long de ce stage.

Introduction

Ce travail a été effectué dans le cadre d'un stage optionnel en fin de Licence 3 physique pendant sept semaines (du 01 Février au 23 Mars 2012) au sein de l'équipe *Modélisation, Synthèse et Contrôle des Signaux Sonores et Musicaux*, (S2M) du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (L.M.A.) de Marseille. Ce stage s'intègre dans un projet plus vaste sur le thème des *Métaphores Sonores* (MetaSon), financé par l'Agence Nationale de la Recherche (A.N.R.), d'une durée de quatre ans, coordonné par le LMA. En particulier, le stage rentre dans la thématique de création et de contrôle de sons de synthèse et consiste en l'établissement d'une base de données de sons d'impact sur des objets du quotidien. Ces derniers ont été choisis en fonction de leur forme et de leur matériau afin d'en avoir une grande variété. Il a ainsi fallu mettre au point des méthodes d'enregistrement en chambre sourde (ou salle anéchoïque) de sons calibrés, puis à leur montage audio pour stockage en banque de données.

Cette banque de sons d'impact est composée de sons d'objets qui sont en 1 des 7 matériaux principaux que l'on puisse trouver dans notre environnement quotidien : bois, carton, céramique, métal, plastique, pierre, verre et en 1 des 5 formes que l'on puisse définir : 1D creux, 1D plein, 2D, 3D creux, 3D plein. La notion de 1D correspond au fait qu'une des trois dimensions de l'objet est largement supérieure aux deux autres, comme une barre ou un tube, la notion de 2D s'applique si l'objet a une dimension largement inférieure aux deux autres comme une plaque et la notion de 3D concerne les objets dont les trois dimensions sont à peu près équivalentes comme un coque ou une cloche. Les termes *creux* ou *plein* correspondent au fait que l'objet possède une cavité ou si il est massif.

Cette base de données sera par la suite utilisée par Camille Rakovec une étudiante du Master 2 Recherche de Mécanique, Physique et Ingénierie Mention Acoustique, qui va travailler sur la perception de la forme et du matériau. Une étape importante va consister à l'élaboration de tests de perception auditive. Afin de caractériser les sons du point de vue de leur morphologie acoustique, les sons enregistrés sont analysés à l'aide de la technique d'« Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques » (ESPRIT) qui est étudiée dans le cadre de la thèse d'Adrien Sirdey. Ils sont ensuite re-synthétisés à partir des paramètres issus de l'analyse.

Ce rapport s'organise en deux parties, la première présente les travaux de l'équipe S2M du L.M.A. et comment ce stage est en relation avec ces travaux tandis que la deuxième partie détaillera le processus de création de cette base de données.

Chapitre 1

L'équipe S2M et le projet MetaSon

L'équipe *Modélisation, Synthèse et Contrôle des Signaux Sonores et Musicaux*, (S2M) est une des équipes travaillant au sein du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique de Marseille (L.M.A.), lui-même faisant partie du Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S.). Cette équipe travaille actuellement sur le projet ANR MetaSon *Métaphores Sonores*, programme CONTINT 2010 (ANR-10-CORD-010)¹ débuté il y a environ 18 mois et qui fait suite aux résultats acquis dans le cadre du projet A.N.R. *senSons "Vers le sens des sons"*, programme jeunes chercheuses et jeunes chercheurs,² coordonné par S. Ystad.

Le projet MetaSon met en relation des personnes du Laboratoire d'Analyse de Topologie et de Probabilités (L.A.T.P.), de l'Institut de Neurosciences Cognitives de la Méditerranée (I.N.C.M.), de PSA Peugeot Citroën ainsi que du L.M.A. et s'articule autour de 2 objectifs principaux, l'un à caractère industriel et l'autre à caractère sociétal.

Le premier objectif du projet MetaSon est le développement de sons adaptés pour l'aide à la maîtrise d'un véhicule électrique, et par conséquent silencieux (sons dans l'habitacle) et la protection des personnes exposées au risque de collision (sons extérieurs). Le second objectif est la détection des troubles dysgraphiques par la sonification du geste d'écriture et par la suite l'aide des enfants à surmonter leur handicap en les informant par le son sur la justesse de leur propre dynamique d'écriture.

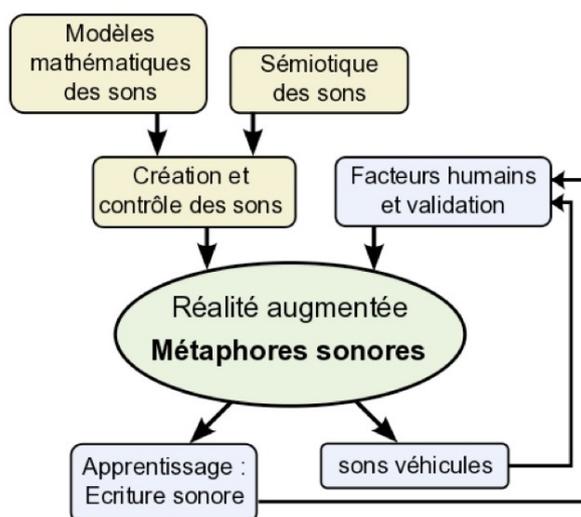


Figure 1.1 – Structuration du projet MetaSon

Ces deux objectifs entrent dans une même thématique : la création de ce que l'on pourrait

1. <http://metason.cnrs-mrs.fr/>

2. <http://www.sensons.cnrs-mrs.fr/>

appeler un *langage des sons*, c'est-à-dire pouvoir donner une information grâce à un son (*métaphore sonore*) et avoir des stratégies de contrôle intuitif de ces sons pour un utilisateur non expert.

1.1 La plateforme de synthèse

Pour parvenir à ces objectifs une plateforme de synthèse en temps réel nommée *Tapong* est utilisée. Il comporte un synthétiseur de sons d'impact qui a été conçu il y a plusieurs années puis amélioré par l'équipe S2M pour générer des sons percussifs sous la forme d'un outil intuitif³. Cette interface de contrôle a été créée il y a cinq ans environ et elle est actualisée et améliorée au fur et à mesure des études menées dans le cadre du projet MetaSon. Cette plateforme a aussi pour vocation d'être utilisée dans différents domaines tels que les applications multimédia, les jeux vidéo (bruitage en temps réel en fonction de l'action du joueur) et la musique (batterie électronique).

1.1.1 Possibilités actuelles de la plateforme de synthèse

À l'heure actuelle, le synthétiseur de sons d'impact permet un contrôle intuitif du matériau perçu, en particulier une *navigation* de manière continue entre cinq catégories de matériau : bois, métal, pierre, plastique, verre. D'après un processus de *morphing*, un son hybride entre deux catégories peut être synthétisé et l'espace de navigation permet d'évoluer continûment d'un son typique d'un matériau à un autre. Ces résultats sur la perception des matériaux ont été obtenus à partir d'études réalisées auparavant. Il y a de plus le choix entre plusieurs formes élémentaires d'objets (corde, plaque, coque . . .) tout en ayant la possibilité de contrôler la taille perçue et de prendre en compte une cavité avec le volume souhaité à l'intérieur de cet objet virtuel. Par ailleurs, le synthétiseur offre des contrôles plus spécifiques du son pour des utilisateurs experts, et permet de contrôler certains descripteurs acoustiques relatives au timbre (brillance, temps d'attaque, rugosité . . .) et à plus bas niveau, directement les paramètres du modèle de synthèse (accessibles via les onglets « middle » et « bottom » de l'interface, figure 1.2).

1.1.2 Évolution future de la plateforme de synthèse

L'objectif est de faire évoluer *Tapong* afin de posséder un outil qui propose plusieurs possibilités d'action (pas uniquement l'impact), des matériaux supplémentaires et des formes plus variées d'objets.

3. <http://www.lma.cnrs-mrs.fr/kronland/Categorization/sounds.html>

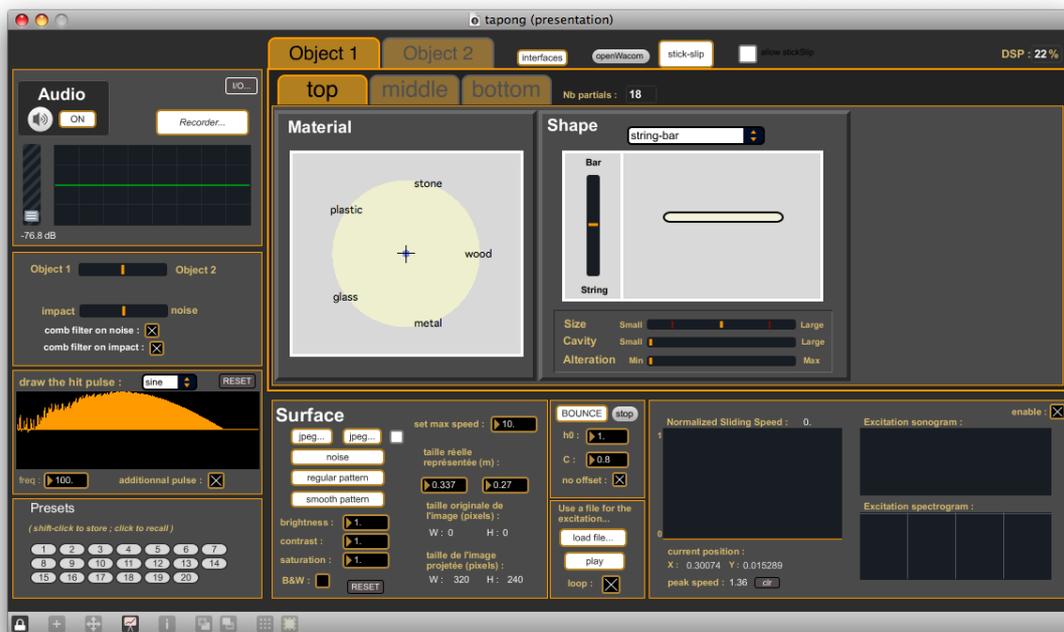


Figure 1.2 – Interface utilisateur de Tapong qui propose un contrôle intuitif du matériau (module « Material ») et de l’objet (module « Shape ») perçus.

1.2 L’action perçue

Le travail sur les actions est effectué dans le cadre des thèses de Simon Conan et d’Étienne Thoret. Ce travail porte d’une part, sur les sons de roulement pour simuler par exemple, dans le cadre du projet MetaSon, le son d’une voiture roulant sur une route, et d’autre part, sur les sons de friction pour le son d’un stylo sur un support (comme le papier) et la distinction perceptive entre les actions de frotter et gratter. L’objectif étant de pouvoir ajouter ces possibilités d’actions ainsi que les contrôles associés dans la plateforme de synthèse.

1.3 Le matériau et la forme perçus

Comme expliquée section 1.1.1, une première validation par la synthèse a été effectuée ce qui a conduit à l’interface de contrôle *Tapong* actuelle, mais une deuxième étude sur un plus large corpus de sons est envisagée avec deux nouveaux matériaux (carton et céramique) et des études perceptives sur la catégorisation sonore des matériaux mais surtout des formes. Il faut donc mettre au point des tests perceptifs avec suffisamment de sons d’impact, ce qui conduit à la création de la banque de sons.

Chapitre 2

Création de la Banque de sons d'impact

Pour chacun des 7 matériaux, il y a 5 catégories correspondant à 3 formes caractérisées par leur dimension principale : 1D pour unidimensionnel (poutre, barre), 2D pour bidimensionnel (membrane, plaque) et 3D pour tridimensionnel (coque, cloche) et à la distinction plein/creux pour les catégories 1D et 3D (cette distinction n'existe pas pour 2D par définition). Ceci fait un total de 35 catégories d'objets à enregistrer et il faut environ une dizaine d'enregistrements par catégorie soit 350 sons en théorie.

Pour chaque matériau il y a 5 catégories correspondant aux formes ce qui fait un total de 35 catégories d'objets à enregistrer et il faut environ une dizaine d'enregistrements par catégorie soit 350 sons en théorie.

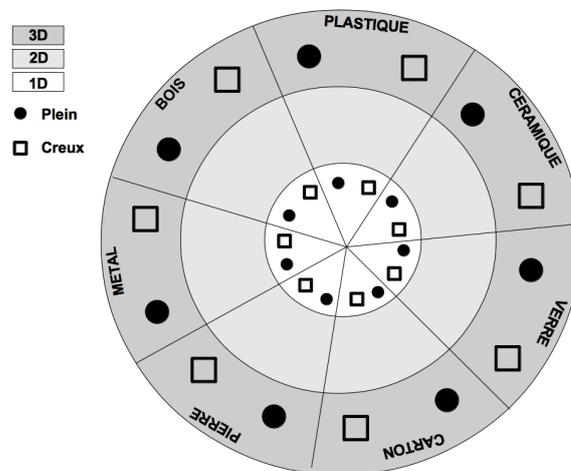


Figure 2.1 – Représentation des différentes catégories de matériaux et de formes

La nomenclature

Pour l'établissement de cette banque de sons d'impact, il a fallu définir un nom à chaque enregistrement qui permet un rangement et une recherche facile des sons en fonction des catégories précédemment définies, c'est-à-dire selon leur matériau, leur forme et le point d'impact sur l'objet. Il fut décidé que le nom des sons enregistrés serait composé de quatre parties séparées entre elles par un *underscore* (le symbole : `_`) et que chaque partie comprendrait trois caractères avec des chiffres et des lettres en minuscules. Tout d'abord les trois premiers termes correspondent au numéro d'enregistrement du son (ex : s03, s15) et les trois

suivants aux trois premières lettres du nom du matériau de l'objet : boi, car, cer, met, pie, pla, ver. La troisième partie correspond à la forme de l'objet c'est-à-dire 1d, 2d ou 3d suivie de la lettre p ou c pour plein ou creux (à noter que 2d est toujours suivi de p) et enfin les trois derniers termes signifient le lieu d'impact sur l'objet à savoir cen, ext ou tra pour centre, extérieur ou tranche car il peut y avoir jusqu'à trois points d'impact pour un même objet.

Ce qui donne par exemple : s20_boi_1dp_tra.wav pour un son d'un objet en bois plein d'une dimension (longiligne) frappé sur la tranche de l'objet.

2.1 Protocole d'enregistrement des sons d'impact

2.1.1 La chambre sourde (ou salle anéchoïque)

Il est par la suite prévu que les sons enregistrés soient analysés puis resynthétisés (voir section 2.2.6). Le programme matlab permettant cette resynthèse définit un son comme une somme de sinusoides exponentiellement décroissantes, ce qui signifie que pour des sons qui ne correspondent pas à ce critère les sons synthétisés ne seront pas ressemblants aux sons enregistrés. Or dans un environnement dit *normal* (dans une salle), la réverbération est contenue dans l'enregistrement d'un son d'impact. Il va ainsi contenir les multiples réflexions sur les éventuels obstacles alentours (mur, surface plane, objets environnants . . .) et produire un effet d'écho qui se traduit sur l'enregistrement par une augmentation du volume sonore et par la superposition de ces réflexions multiples qui arrivent retardées au point de captation. La qualité d'enregistrement des sons d'impact doit être la plus *propre* possible afin d'avoir un son le plus proche possible du modèle de signal utilisé dans le programme matlab. Une chambre sourde (ou salle anéchoïque) est par définition une salle dans laquelle la réverbération est fortement atténuée (quasi-nulle) et les sons qui y sont enregistrés ne contiennent aucun écho, grâce aux murs recouverts de dièdres absorbants placés selon une certaine disposition, nous allons donc y effectuer les enregistrements avec le matériel représenté sur les Figures 2.2 et 2.3 et détaillé dans les sections suivantes.

2.1.2 Le marteau-force

L'impact sur l'objet est effectué à l'aide d'un marteau-force Brüel & Kjær de type 8202 ce qui permet d'enregistrer la force de l'impact et de vérifier qu'il n'y en a eu qu'un. Dans le cas contraire le son enregistré n'est plus défini comme une somme de sinusoides exponentiellement décroissantes ce qui implique que le programme matlab permettant la synthèse des sons ne va pas pouvoir créer des sons ressemblant à l'original. Le marteau-force est branché, via un amplificateur de charge Brüel & Kjær de type 2628, à une carte son externe elle-même reliée à un ordinateur.

2.1.3 Le microphone

L'enregistrement est effectué grâce au modèle de microphone Neumann km 183 (omni-directionnel) fixé sur un pied et branché à une carte son externe. Le positionnement du microphone est très important, nous l'avons placé à une quinzaine de centimètres minimum de l'objet pour ne pas mesurer le champ acoustique trop proche.

2.1.4 La carte son externe

Sur la carte son externe, une MOTU UltraLite mk3, deux entrées sont utilisées : celle de la piste de gauche pour le microphone et celle de la piste de droite pour le marteau-force. La

carte est ensuite reliée à un ordinateur. La carte son permet d'augmenter le volume du signal pour des sons de faible intensité, mais de ce fait les *bruits* du microphone et du marteau-force sont augmentés aussi. Il est également important d'éviter la saturation du signal du microphone ou du marteau-force car l'enregistrement ne serait pas exploitable par la suite.



Figure 2.2 – table d'enregistrement

2.1.5 L'ordinateur et le logiciel

L'ordinateur qui est utilisé est un MacBook Pro 15 pouces (2.4 GHz, 4GB de RAM, Mac OS 10.5.8) possédant le logiciel Audacity. Ce logiciel est sous licence libre et permet d'effectuer des enregistrements multi-pistes (nous avons choisi une fréquence d'échantillonnage de 44 100 Hertz) et des montages audio puis d'exporter le son final en format .wav.

2.1.6 L'appareil photo

Pour chaque son enregistré, une photo est prise sur laquelle apparaît aussi la position du microphone par rapport à l'objet. La photo est nommée comme le son auquel elle est attachée (l'extension est différente : JPG) et via le logiciel Gimp 2.6, un point vert est placé pour marquer le point d'impact du marteau-force sur l'objet. L'appareil photo est un Nikon coolpix L15.



Figure 2.3 – exemple de photo prise durant l'enregistrement puis marquée du point d'impact

2.1.7 Comment tenir l'objet ?

Les objets de taille et de poids moyens sont tenus par une pince recouverte de mousse fixée sur un pied de micro. Pour les objets ayant une taille et un poids ne permettant pas d'être fixés avec la pince (grosses pierres, larges plaques en métal et en bois,...), un petit socle recouvert de mousse est utilisée.

2.2 Problèmes rencontrés

2.2.1 Changement de nomenclature

Lors des premiers jours après plus d'une vingtaine d'enregistrements d'essais dans le studio de l'équipe pour se familiariser avec le matériel et la manière d'effectuer les impacts sur les objets en se servant du marteau-force, il est apparu que les fichiers son ne pouvaient pas s'ordonner par catégorie de matériau lorsqu'on choisissait l'affichage par nom dans le répertoire car ils se classaient d'abord par numéro. La nomenclature a donc été modifiée de la façon suivante : le nom du matériau et le numéro d'enregistrement furent échangés.

Ce qui donne au final : `boi_s20_1dp_tra.wav` au lieu de `s20_boi_1dp_tra.wav` en reprenant l'exemple précédent.

Ainsi les sons se classent d'eux-mêmes par matériau puis par numéro d'enregistrement ce qui permet une meilleure *navigation* dans les fichiers son.

2.2.2 Objets ambigus

Certains objets présentant une forme ou un matériau pouvant prêter à confusion ont été néanmoins classés dans une catégorie mais après réflexion ont dû en être changés. Il a donc fallu renommer un certain nombre de sons et pour ceux qui étaient déjà analysés le nom des dossiers et des fichiers à l'intérieur (voir section 2.2.6). Un programme matlab nommé *nom.m* permettant de modifier le nom du matériau et le numéro d'enregistrement du son a donc été conçu pour que l'utilisateur puisse les changer rapidement.

2.2.3 Objets introuvables

Des objets de certaines catégories n'ont pu être trouvés (en particulier les formes 1dc, 1dp et 3dp). Ainsi les catégories 1dc en bois, carton, céramique, pierre et verre n'ont aucun son enregistré. Il en est de même pour les catégories 1dp en pierre et verre. La catégorie céramique 1dp n'a que trois sons enregistrés. Les catégories 3dp en carton, céramique, plastique et verre ont aussi représenté certaines difficultés. La solution trouvée a consisté au remplissage d'objets 3dc précédemment enregistrés avec du sable.

2.2.4 Bruits parasites

Lors de l'impact sur l'objet il peut arriver que la pince et le pied auxquels il est attaché vibrent et fassent un peu de bruit, il faut donc arriver à faire tenir et frapper l'objet de façon à ce que lui seul produise un son.

Du fait que l'enregistrement se fasse en chambre sourde, il y a un silence presque total à l'exception des petits bruits tels que les pas sur le sol, les respirations, les frottements de vêtements qui sont tous faciles à éviter sur des sons courts mais lorsque l'enregistrement dure plus de dix secondes, il peut arriver qu'il faille recommencer l'enregistrement si un de ces bruits apparaît.



Figure 2.4 – exemple d'un objet initialement 3dc qui a été rempli avec du sable pour correspondre à un objet 3dp (ver_s30_3dp_cen.JPG)

2.2.5 Multiples impacts

Certains objets sont plus difficiles que d'autres à enregistrer de par leur nature même comme les petits objets en plastique ou en métal 1d. Avoir un impact unique et sec peut ainsi demander jusqu'à une heure d'essais.

sectionAnalyse et synthèse

2.2.6 Matlab

Une fois les sons d'impact enregistrés, ils sont analysés à l'aide de la technique ESPRIT « Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques » puis resynthétisés avec les paramètres issus de l'analyse, grâce au programme matlab nommé *analyse.m* mis au point par Adrien Sirdey dans le cadre de sa thèse. Le programme crée tout d'abord un dossier du même nom que le son puis y place les sons de resynthèse ainsi que les paramètres de synthèse estimés par la méthode ESPRIT (i.e. amplitude, fréquence et amortissement des sinusoides exponentiellement décroissantes). Pour chaque son analysé, il y a quatre sons de synthèse (correspondant à 4 paramétrages différents de la méthode d'analyse) dans le dossier et un son supplémentaire qui est une copie du fichier .wav original duquel la piste du marteau-force a été supprimée. Les dossiers sont alors triés par catégorie de matériau puis par forme. Le son original et la photo restent avec le dossier correspondant.

2.2.7 Problèmes rencontrés

Dans un premier temps le programme *analyse.m* ne traitait que 5 000 échantillons sur les sons enregistrés mais après une trentaine d'analyses ce nombre est passé à 16 384 échantillons ($= 2^{14}$) pour plus de précisions sur l'estimation des paramètres. Cette augmentation entraîna aussi une augmentation du temps mis par le programme pour analyser un son.

Ce temps varie selon plusieurs paramètres (nombre de composantes, durée du son,...) ainsi certains sons peuvent prendre plus de trois heures entre le début de leur analyse et la fin de leur re-synthèse. Il a donc fallu que les sons soient traités en permanence, de jour comme de nuit, les week-end compris, afin de ne pas prendre de retard entre l'enregistrement et l'analyse des sons. En effet, lorsqu'une resynthèse (donc une analyse) n'est pas satisfaisante, le son n'est pas gardé dans la banque. En particulier, certains sons (une quinzaine en plus des 350 sons enregistrés) n'ont pas donné une re-synthèse satisfaisante c'est-à-dire qui n'était pas suffisamment ressemblante à l'original. L'origine de ces problèmes vient principalement de bruits parasites qui n'ont pas été détectés lors de l'enregistrement en salle anéchoïque.

2.3 Résultats

Près de 350 sons ont été enregistrés, au moins une dizaine par catégorie d'objets trouvés (certaines catégories n'ont pas été remplies), lors de ces sept semaines de stage. Une cinquantaine de sons ont été *recalés* car ils n'étaient pas appropriés (trop courts, bruits parasites,...). La banque de sons ainsi constituée laisse la possibilité de créer par la suite sept tests perceptifs de cinquante sons chacun.

2.4 Autres travaux

Lors des deux dernières semaines de stage, des sons d'objets (précédemment collectés pour la banque de sons) frappés l'un contre l'autre ont été enregistrés puis re-synthétisés pour Adrien. Ceci a été fait dans le but de voir s'il était possible de retrouver le son d'impact issu de chaque objet séparément à partir de l'analyse du son global d'impact entre ces deux objets.

Le problème cependant est que tous les objets n'ont pas besoin de la même force à l'impact pour produire un son. De ce fait, sur les premiers enregistrements effectués, on ne pouvait entendre qu'un seul des deux objets (celui qui résonnait le plus). Ainsi sur les derniers enregistrements, les objets ont été choisis de manière à ce qu'ils puissent être perçus tous les deux à travers le son produit.

Enfin, l'organisation de la base de données a été gérée grâce à un programme matlab nommé *sndb.m* (SouNdDataBase) qui a été créé récemment par Adrien Merer. Cet outil générique en cours d'évolution offre ainsi diverses possibilités : classement, sélection, import ou bien export de données sonores.

Conclusion générale et perspectives

La création de cette banque de sons d'impact a permis par la suite la mise au point de tests perceptifs sur la reconnaissance des formes d'objet et des matériaux. Cette banque sonore devrait ainsi servir à travers ces tests à valider les travaux effectués précédemment sur la perception des matériaux par l'équipe et à améliorer l'interface de contrôle de *Tapong* notamment sur les formes perçues.

Grâce aux sons de re-synthèse qui sont identiques aux sons enregistrés, on a pu constater d'une part, la validité du modèle de synthèse de sons d'impact utilisé et de la méthode d'analyse (qui considère le son comme une somme de sinusoides exponentiellement décroissantes ou amorties) mais d'autre part, ses limites car il ne permet pas de reproduire un son enregistré qui contient des effets de réverbération de salle par exemple.

D'un point de vue personnel, ce stage m'a beaucoup apporté. Il m'a permis par le fait de travailler dans une équipe du C.N.R.S. de comprendre ce qu'était réellement le travail dans la recherche et j'ai eu l'occasion de découvrir le domaine de l'acoustique expérimentale et de la synthèse sonore de manière plus approfondie et plus intéressante. Ce stage m'a aussi appris à gérer mon temps de travail sur un projet en modulant mes horaires et en définissant des priorités selon l'avancement du stage. J'ai activement participé à la collecte des objets en fonction des catégories, à l'installation du matériel nécessaire pour les prises de son ainsi que la mise en œuvre du protocole d'enregistrement dans la salle anéchoïque du laboratoire. J'ai aussi eu le temps d'apprendre LaTeX pour la rédaction de ce rapport et d'améliorer mon utilisation de Matlab à travers les outils d'analyse et de synthèse des sons développés dans l'équipe. Enfin, ce stage m'a donné la chance de rencontrer, de discuter et d'échanger de façon fructueuse avec des chercheurs, des stagiaires et des étudiants en thèse.