

Etudiante : Magnin Marie
Suiveur UTC : M. Gatignol
Département : Génie MECANIQUE
Filière : AVI

P2006

Urgence des sons d'alarme non verbaux : Effet des sons environnementaux sur le temps de réaction

Laboratoire : Ircam
Responsables : Clara Suied
Patrick Susini

Remerciements

Je remercie Clara Suied, ma suiveuse, qui m'a encadrée, conseillée, appris plein de nouvelles choses, aidée ... durant ce stage.

Je remercie toute l'équipe Perception et design sonores qui m'a très bien accueillie et a été toujours disponible pour moi. Merci pour leur bonne humeur et leurs éclats de folie.

Je remercie aussi toutes les personnes que j'ai pu rencontrer pendant ce stage et qui m'ont soutenue.

Merci à la machine à café pour les rencontres qu'elle permet.

Sommaire

<u>I. INTRODUCTION GENERALE.....</u>	8
<u>II. CADRE DU STAGE</u>	9
II.1 L'IRCAM	9
II.1.A STATUT	9
II.1.B HISTORIQUE	9
II.1.C MISSIONS	9
II.2 L'EQUIPE PERCEPTION ET DESIGN SONORES	12
II.2.A ACTIVITES.....	12
II.2.B PRINCIPALES THEMATIQUES	12
<u>III. QUELQUES NOTIONS PRELIMINAIRES.....</u>	14
III.1 ETAT DE L'ART.....	14
III.1.A L'URGENCE ET LES SONS ABSTRAITS	14
III.1.B LES SONS ENVIRONNEMENTAUX	15
III.2 MESURE DU TEMPS DE REACTION (TR).....	18
III.2.A INFLUENCE DE LA TACHE SUR LE TR	18
III.2.B INFLUENCE DE L'INTENSITE SUR LE TR.....	19
III.3 METHODE D'ANALYSE DES DONNEES : ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)	19
III.4 LE MATERIEL UTILISE	20
<u>IV. PRE-REQUIS : LES EFFETS DE L'IOI SUR LE TEMPS DE DETECTION POUR DES SONS ABSTRAITS.....</u>	21
IV.1 INTRODUCTION	21
IV.2 PROCEDURE.....	21
<u>V. EXPERIENCE PRINCIPALE : LES EFFETS DE LA NATURE DU SON SUR LE TEMPS DE DETECTION.....</u>	23
V.1 INTRODUCTION.....	23
V.1.A PROBLEMATIQUE	23
V.1.B OBJECTIFS DE L'EXPERIENCE.....	23
V.2 LES SONS UTILISES	23
V.2.A LES ALARMES ABSTRAITES	23
V.2.B LES SONS D'ANIMAUX	23
V.2.C RECAPITULATIF DES SONS UTILISES DANS L'EXPERIENCE	29
V.3 METHODE	29
V.3.A LES SUJETS	29
V.3.B PLAN EXPERIMENTAL.....	29

V.3.C PROTOCOLE EXPERIMENTAL	30
V.4 RESULTATS ET DISCUSSION.....	31
V.4.A VERIFICATION DES DONNEES.....	31
V.4.B EFFET DE LA NATURE DU SON	32
V.4.C EFFET DE LA MODULATION.....	34
V.5 DISCUSSION GENERALE	36
<u>VI. CONCLUSION GENERALE.....</u>	<u>37</u>
<u>VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</u>	<u>38</u>

Table des figures

Figure 1 : TR (ms) en fonction de l'IOI	22
Figure 2 : représentation temporelle du lion.....	25
Figure 3 : représentation de l'énergie par tiers d'octave	25
Figure 4 : représentation temporelle du léopard	26
Figure 5 : représentation de l'énergie par tiers d'octave	26
Figure 6 : représentation temporelle du léopard.....	27
Figure 7 : représentation de l'énergie par tiers d'octave	27
Figure 8 : représentation temporelle du jaguar	28
Figure 9 : : représentation de l'énergie par tiers d'octave.....	28
Figure 10 : interface vue par le sujet pendant l'expérience	30
Figure 11 : Exemple de vérification pour un sujet : avec la moyenne du TR par bloc et l'écart type, en couleur on voit apparaître les outliers en couleur, chaque couleur représentant un son	31
Figure 12 : TR (ms) moyen en fonction du son.....	33
Figure 13 : TR (ms) moyen en fonction de la nature du son.....	33
Figure 14 : TR moyen (ms) en fonction du son.....	34
Figure 15 : TR moyen (ms) en fonction du son.....	35

Table des tableaux

Tableau 1 : comparaison alarme visuelle / alarme auditive	14
Tableau 2 : mesures de temps de réaction suivant la tâche demandée.....	18
Tableau 3 : récapitulatif des IOI.....	21
Tableau 4 : IOI et modulation associée.....	23
Tableau 5 : récapitulatif des sons	29
Tableau 6 : analyse de la variance.....	32

I. Introduction générale

Ce rapport présente mon stage de fin d'étude. Il conclut ma formation d'ingénieur à l'UTC en génie mécanique, spécialité acoustique et vibrations industrielles. Ce stage s'est déroulé à l'Ircam (Paris) au printemps/été 2006 sur une durée de 6 mois, au sein de l'équipe Perception et Design Sonores dirigée par Patrick Susini. Il s'agit d'une étude sur l'utilisation de sons environnementaux comme vecteurs d'information, en particulier l'utilisation de ces sons comme alarmes sonores.

Dans un premier temps, il a fallu rassembler un grand nombre d'articles concernant les sons environnementaux, les alarmes et les méthodes de mesure afin développer des hypothèses de travail ainsi qu'un cadre expérimental. Un rapport bibliographique résume une partie de ces articles et un extrait de ce rapport est exposé dans une première partie de ce rapport.

Avant de commencer l'expérience proprement dite, il a fallu réfléchir longuement au protocole de l'expérience visant à tester les hypothèses de travail. Finalement, nous avons choisi de mettre en place un protocole permettant de mesurer des temps de réaction. La méthode est expliquée en détail dans le chapitre suivant l'état de l'art.

Une première expérience sera présentée figurant comme pré-requis. Elle a été menée par Clara Suied pour justifier l'expérience principale présentée dans ce rapport. L'ensemble des deux expériences permet une continuité et une cohérence d'ensemble dans la thèse de Clara Suied.

L'expérience principale est ensuite présentée. Le choix des sons utilisés dans cette expérience est capital. Ils ont été choisis minutieusement parmi un large panel de sons à notre disposition. Un paragraphe décrit très précisément ces sons.

Pour conclure le chapitre sur l'expérience, les résultats sont présentés, suivi par une discussion. Une discussion générale résume les résultats obtenus et les analyses.

II. Cadre du stage

II.1 L'IRCAM

II.1.a Statut

L'Ircam est une association à but non lucratif, reconnue d'utilité publique, contenant une UMR du CNRS. Environ quatre-vingt-dix scientifiques y travaillent pour appliquer l'informatique et l'acoustique à la recherche musicale. Le projet global est validé par un Conseil d'Administration présidé par Bruno Racine, président du Centre Pompidou. Les financements proviennent du Ministère de la Culture et du Ministère de la Recherche ainsi que nombreux projets industriels, nationaux et européens. Les recherches sont menées dans le cadre de la création contemporaine et sont organisées en deux pôles : le pôle Recherche et Développement, et le pôle Création et Diffusion.

II.1.b Historique

Georges Pompidou initie en 1969 la création de l'IRCAM et confie sa direction à Pierre Boulez. L'ouverture se fera en 1977, suivant celle du centre Georges Pompidou. L'IRCAM est associé au centre Pompidou, et sous tutelle du Ministère de la Culture et de la Communication. Dans la fin des années 70, les recherches en informatique musicale commencent. En 1992, Laurent Bayle succède à Pierre Boulez au poste de directeur, qui instaure une ouverture de l'Ircam à d'autres formes artistiques telles que la danse, ou le spectacle vivant. C'est aussi l'année de la création du Forum, qui permet une diffusion des logiciels développés à l'Ircam auprès du public. Depuis 1995, l'Institut est en partenariat avec le CNRS dans le cadre d'une Unité Mixte de Recherche (UMR 9912'E : sciences et technologies de la musique et du son). La première édition du festival Agora a lieu en 1998 : ce festival réunit la musique et d'autres formes d'expression contemporaines avec la technologie. En 1999 sort la première version de J-Max, environnement de programmation musicale, et l'équipe de Design Sonore fait ses débuts, qui s'appelle alors Perception et Cognition Musicales. Depuis janvier 2006, Frank Madlener est le nouveau directeur de l'Ircam.

II.1.c Missions

La Recherche

Au niveau mondial, l'IRCAM est le plus gros centre de recherche scientifique entièrement dédié aux technologies pour la création musicale. L'IRCAM accueille une importante population de chercheurs : près de 90 scientifiques. Ce pôle de recherche est constitué des équipes suivantes:

- Acoustique instrumentale,
- Acoustique des salles,
- Analyse des Pratiques Musicales,
- Analyse/Synthèse sonore,
- Applications Temps Réel,
- Atelier Mécanique,
- Perception et Design Sonores,

- Logiciels libres et Ingénierie Logicielle,
- Représentations musicales,
- Services en Ligne,
- Service Informatique.

Ces équipes, qui demeurent en relation étroite et permanente avec le monde des compositeurs en participant directement aux projets de création menés chaque année (375 oeuvres produites depuis 1977), mènent des recherches fondamentales sur les apports des mathématiques, de l'acoustique, de l'informatique et de la physique, appliqués à la création musicale. Leurs travaux autour de l'acoustique instrumentale, de l'analyse et de la synthèse des sons, des représentations numériques des structures musicales, du temps réel, de l'acoustique des salles, du design sonore, de la musicologie, des métadonnées musicales et du génie logiciel appliqué au traitement du son suscitent des échanges suivis avec la communauté scientifique internationale. Parallèlement à ces nouveaux éléments d'écriture et de lutherie mis à disposition des créateurs à travers ces recherches, et en étroite synergie avec eux, les terrains d'application sont nombreux. Le financement aussi bien que la socialisation de ces travaux s'opèrent notamment par la participation à des projets européens ou des partenariats développés avec le secteur industriel. Cette technologie peut concerner l'évolution des appareils de diffusion en haute fidélité, le son multi-canal en général, les normes de télécommunication, le design d'ambiance sonore des lieux publics, les logiciels d'éducation musicale, le traitement de la voix au cinéma, les nouveaux supports éditoriaux numériques, etc... De nouveaux chantiers ont été ouverts. Les nouveaux enjeux de la Recherche et leurs conséquences sur la création musicale ont été questionnés en fonction des très importantes évolutions qui ont eu lieu au cours de la dernière décennie en matière aussi bien de logiciels que de matériels, et qui permettent d'envisager l'investigation de nouveaux chantiers musicaux à travers la recherche scientifique. C'est en particulier le cas dans les domaines de la voix, des outils d'écriture (résultant du dépassement de l'opposition entre temps réel et temps différé), du rythme, de l'orchestration et de la spatialisation, ainsi que des nouvelles conditions de la performance en temps réel. Un Pôle de recherche appliquée aux technologies pour le spectacle vivant vient d'être créé. Au sein d'un Studio Hypermédia sont développées des pilotes de Web radio, des maquettes d'écoutes signées, un programme de production de DVD. Ces applications, qui ont des finalités à la fois éducatives et éditoriales, et qui renouvèlent les instruments de l'analyse musicale, explorent aussi l'évolution de la relation entre les oeuvres et leurs publics à travers les nouvelles médiations techniques. Celles-ci en effet affectent désormais analystes et publics comme elles ont affecté les compositeurs.

Un outil : le Forum Ircam

Valorisant sur le net les produits de la Recherche et principalement les logiciels, le Forum les rend disponibles aux musiciens ou techniciens évoluant à l'extérieur de l'institut. Au-delà des logiciels, l'adhésion permet d'accéder à des services : mises à jour, support technique, dossiers de veille technologique. Le Forum rassemble 1200 professionnels de la musique informatique qui se retrouvent deux fois par an pour des sessions d'information et de formation. Depuis sa création en 1993, plus de 3000 usagers ont bénéficié des services du Forum.

Un temps fort : les rencontres Résonances

Initiées en 2002, ces rencontres internationales sur les technologies pour la musique sont désormais une plate-forme d'échange devenue l'un des rendez-vous incontournable entre les milieux scientifiques et le monde artistique, autour des technologies pour la musique. Des thématiques orientées vers les nouveaux enjeux de l'Ircam ont été traitées en 2003 : l'analyse musicale et le Pôle spectacle, tandis que le propos se portera en 2004 sur l'écriture et les questions d'interprétation. Ces

rencontres sont une occasion d'aborder les productions à la fois sous un angle analytique et dans leur relation avec la recherche scientifique. Elles ont vocation à devenir l'un des moments forts du débat musical et artistique au sein de l'Institut.

La Création et sa Diffusion

Entre 1977 et 2002, l'Ircam a passé commande de 373 créations, soit une moyenne de 15 créations par an. Ce sont ainsi 240 compositeurs qui ont utilisé les résultats de la recherche pour produire leurs oeuvres. Les studios de l'Ircam accueillent tout au long de l'année ces compositeurs en production. Leurs projets sont sélectionnés selon plusieurs entrées : commandes, Comité de lecture, accueil au projet, en fonction de leur adéquation avec les priorités de l'Ircam, notamment en matière de recherche. Afin de se positionner en véritable partenaire des artistes accueillis, l'Ircam privilégie les résidences de création. Une politique d'accueil destinée à des compositeurs en recherche auprès de scientifiques, vient d'être relancée sur la base d'une concertation visant à déterminer de nouveaux objets prospectifs.

La saison musicale : 2005-2006

Une vingtaine de rendez-vous ponctuent la saison de l'Ircam accueillie par des lieux de diffusion ou intra-muros. Ces rendez-vous visent à faire connaître le répertoire créé et présenter les jeunes compositeurs, élèves du Coursus que dispense l'Ircam.

Un temps fort : le festival Agora

Afin de s'ouvrir davantage à tous les publics, l'Ircam organise depuis 1998, son propre festival, Agora qui associe la création musicale à d'autres disciplines, durant deux semaines en juin.

La Pédagogie

L'Ircam dispense deux formations universitaires qui le rapprochent du monde de la recherche scientifique : un Mastère Sciences et Technologies (Paris VI/Ircam) - Parcours ATIAM et une Formation Interdisciplinaire de Recherche (ENS/Ircam/CNSMDP) - Firmus. Un Coursus d'un an, destiné à dix jeunes compositeurs de niveau international, traite de composition et d'informatique musicale. Un dispositif post-coursus permet d'inscrire dans la durée sous la forme de résidence "jeunes compositeurs", des collaborations avec ces jeunes musiciens qui renouvellent les problématiques musicales. Plusieurs formations professionnelles sont organisées : des stages abordent la composition et l'informatique musicales. Enfin, un cycle de conférences est ouvert au grand public.

Les éditions

L'Ircam propose un important catalogue d'ouvrages, de disques et de CD-Roms, autour de la création musicale contemporaine.

II.2 L'équipe Perception et Design Sonores

Responsable : Patrick Susini

II.2.a Activités

Intégrée dans les activités de l'Ircam en 1999, l'équipe Design sonore, sous la responsabilité de Louis Dandrel jusqu'en 2004, est devenue l'équipe Perception et Design Sonores. Cette nouvelle équipe s'oriente vers l'étude et l'analyse perceptives des phénomènes sonores afin d'établir des connaissances sur les mécanismes perceptifs associés à la description et à la signification des sons jusqu'à l'identification de sources sonores et à la perception de séquences sonores. L'équipe combine ce travail de recherche en perception à un travail de recherche en acoustique en termes de paramètres de contrôle de synthèse et de diffusion associés à une source sonore. Les travaux de recherche de l'équipe s'articulent donc autour d'axes théoriques dans les domaines de l'acoustique et des sciences cognitives, intégrant les connaissances et les approches expérimentales de la psychoacoustique. Les applications de l'équipe se retrouvent dans trois champs d'investigation du design sonore : la qualité sonore, la signalétique sonore et l'espace sonore. Ces applications sont combinées à une approche esthétique propre au domaine musical.

II.2.b Principales thématiques

Les activités de l'équipe sont structurées autour de cinq domaines d'investigation en termes de recherche et d'application :

Identification et simulation d'une source sonore : Les qualités de simulation d'un instrument de musique ou plus généralement d'une source sonore dépendent à la fois des modèles de représentation perceptive, de synthèse physique et de diffusion sonore. Aussi, une partie des travaux de l'équipe est consacrée d'une part à déterminer les invariants acoustiques responsables de l'identification des caractéristiques d'une source prototype d'une catégorie, et d'autre part à l'étude du couplage d'un système de modélisation physique et d'un système de diffusion/ spatialisation (Synthèse du rayonnement). Cette combinaison doit permettre d'élaborer un outil adapté pour le design d'objets sonores.

Perception d'une séquence sonore : La perception globale d'une séquence sonore, composée de divers événements, ou d'une phrase musicale dépend de l'agencement de ses unités et de ses caractéristiques temporelles. L'équipe mène des travaux de recherche consacrés à ce sujet : étude des éléments d'une phrase musicale qui constituent la grande forme musicale, compréhension des mécanismes de mémoire auditive, analyse des relations entre formes temporelles et perception globale de la sonie d'une séquence sonore.

Qualité sonore : La notion de qualité d'un produit passe aussi par sa représentation sonore. L'équipe travaille sur l'évaluation de la qualité des objets sonores en étudiant les critères perceptifs et les représentations cognitives constitutifs de jugements de qualité sonore.

Signalétique sonore : L'utilisation de sons autres que la parole permet de communiquer des informations complémentaires (confirmation) voire essentielles (alerte, assistance) selon le contexte (hors champ ou surcharge visuelle), selon l'utilisateur (déficience visuelle). Le son devient un signe dont

il faut comprendre la construction et l'articulation avec les autres signes afin de déduire des règles de design sonore. L'équipe poursuit des travaux sur ce thème en intégrant des principes du domaine de la sémiotique et des analyses en psycholinguistique confrontés à une approche expérimentale. Les applications en téléphonie, radio en ligne, IHM, multimédia sont multiples.

Espace sonore : Au-delà des problèmes de bruit, l'ambiance sonore d'un espace peut aider à améliorer son usage au même titre que l'ambiance lumineuse ou thermique. Les solutions de design sonore sont de plusieurs types : architectural, signalétique sonore, ou bien design sonore local sur les sources sonores présentes. L'équipe développe des méthodologies adaptées à l'étude du sonore dans les lieux publics qui combinent approches expérimentales en laboratoire et approches situées associant parcours commentés et enquêtes d'utilisateurs. L'approche développée est aussi bien valable pour l'étude d'accès à des lieux publics utilisant des informations sonores que pour la scénographie sonore d'expositions. Domaines de compétence : Psychoacoustique, psychologie cognitive, acoustique, diffusion, sémiotique, design sonore, environnements sonores, analyse de données.

Collaborations : Renault, PSA Peugeot-Citroën, SNCF, EDF, Klaxon, Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (CNRS), Laboratoire d'Acoustique Musicale (CNRS), Univ. Paris 8, Univ. Paris 10, Unité Perception Multisensorielle, cognition et modélisation (FTR & D), Ina-GRM, LAPS-Design, Genesis. 8

III. Quelques notions préliminaires

Exprimer l'urgence grâce à des sons non-verbaux a fait l'objet de nombreuses études. Quelques unes sont résumées dans le chapitre qui suit. Bien que les alarmes abstraites aient été les premières à être utilisées dans diverses applications, les sons environnementaux ont rapidement suscité un intérêt dans la communauté scientifique, en tant que vecteur d'information. Pour mesurer l'efficacité des différentes alarmes, il existe plusieurs méthodes. Il est intéressant de quantifier l'urgence *perçue* des alarmes : historiquement, les mesures subjectives ont été les premières à être utilisées. Il paraît important toutefois d'avoir des résultats *objectifs*. Pour cela, la mesure de temps de réaction est la plus appropriée (dans notre cas). Elle est décrite en détail dans ce chapitre.

III.1 Etat de l'art

III.1.a L'urgence et les sons abstraits

De nombreuses études ont été menées sur l'utilisation de sons abstraits comme alarmes. Stanton et Edworthy [STA99] donnent une vue d'ensemble des alarmes sonores, en particulier sur le lien qui existe entre les paramètres des signaux sonores et l'urgence perçue. Les alarmes sonores « envahissent » tous les aspects de notre vie. Elles prennent beaucoup de formes : sirènes, klaxon,... Ces alarmes doivent être choisies selon le type de contexte dans lequel elles prennent place et selon le type d'action qu'elle doivent engendrer (immédiate ou préventive). De nombreuses études ont été menées dans les milieux de l'aviation militaire et hospitalier. Les alarmes sonores sont en effet utilisées dans les milieux où le système visuel est surchargé. Stanton et Edworthy font une comparaison des avantages relatifs des alarmes sonores et visuelles.

	Présentation auditive	Présentation visuelle
Réception	Ne demande pas de recherche directionnelle	Demande de l'attention et une sélection
Vitesse (de réception)	Plus rapide	Plus lente
Apprentissage	Difficile à retenir	Facile à retenir
Urgence	Facile à faire passer	Difficile à faire passer
Pertinence	Dépend du temps	Dépend de l'espace

Tableau 1 : comparaison alarme visuelle / alarme auditive

D'après ces comparaisons, les alarmes sonores semblent toutes indiquées pour transmettre les messages d'urgence. Cependant, des problèmes existent avec les alarmes sonores. Stanton et Edworthy donnent des exemples de problèmes survenus dans les milieux de l'aviation et hospitaliers. Les alarmes sonores sont souvent trop nombreuses. Des études montrent le manque d'adéquation

entre le degré d'urgence traduit par les signaux d'alarmes que l'on peut entendre au quotidien et les situations associées (une infirmière ne sait plus exactement à quoi correspond une alarme précise) ([MOM89] cité dans [EDW91]). De plus elles peuvent effrayer l'utilisateur et inhiber toute réaction, ce qui est exactement l'effet contraire à celui attendu (ces auteurs citent le cas d'un aviateur qui est effrayé par le nombre d'alarmes mises en route simultanément et qui ne sait pas du tout comment réagir face à cet « assaut »).

À partir de ces constats, Patterson (cité dans [EDW91]) propose une méthode pour construire des alarmes sonores. Pour construire les alarmes, Patterson commence par synthétiser des briques sonores élémentaires (*pulses*). Les *pulses* sont des sons brefs (d'une durée comprise entre 100 et 300 ms), avec une attaque (*onset*) et une décroissance (*offset*) progressives (d'une durée de l'ordre de 20 ms). L'attaque progressive sert à réduire l'effet de surprise (*startle effect*). Chaque pulse est construit sur la base d'un jeu de paramètres acoustiques : fréquence fondamentale, série harmonique, enveloppe temporelle, brillance, ... La seconde étape consiste à construire une séquence (*burst*) en alternant séries de *pulses* et périodes de silence. La troisième et dernière étape consiste à séquencer plusieurs *bursts* différents. Cette suite de *bursts* forme l'alarme sonore, qui sera jouée en boucle tant que nécessaire.

Edworthy, Loxley et Dennis [EDW91] cherchent à maîtriser l'urgence perçue, via les paramètres acoustiques des *pulses* et des *bursts*. Edworthy identifie les paramètres ayant un effet significatif ; il est donc possible de concevoir des alarmes possédant un degré prédictible d'urgence perçue. Nous allons exposer les paramètres en question ainsi que leurs effets sur l'urgence perçue. Concernant les *pulses*, elle retient les paramètres suivants, présentés ici du plus au moins influent :

- L'urgence croît avec la fréquence fondamentale du *pulse* ;
- Une enveloppe régulière rend l'alarme plus urgente qu'une attaque lente.
- L'urgence perçue croît avec l'irrégularité de la série harmonique
- Introduire les harmoniques de rang élevé avec un délai tend à amoindrir l'urgence de l'alarme.

D'autres paramètres, relatifs aux *bursts*, permettent également de jouer sur l'urgence perçue :

- L'urgence croît avec la vitesse (une grande vitesse signifie un IOI, Inter Onset Interval, petit)
- L'urgence perçue croît comme l'accélération (évolution de la vitesse au cours du *burst*) ;
- Un rythme régulier est perçu plus urgent qu'un rythme syncopé ;
- L'urgence croît avec le nombre de répétitions du *burst* ;
- La gamme de fréquences fondamentales utilisée a son importance ; la plus large exprime la plus forte urgence, vient ensuite la plus étroite, et l'urgence la plus faible est exprimée par une gamme intermédiaire.
- La mélodie du *burst* est perçue plus urgente quand elle présente plus de variations tonales.
- La musicalité du *burst* tend à réduire l'urgence ;

D'une façon générale, on peut dire que c'est l'aspect imprédictible du *burst* qui lui confère son urgence.

III.1.b Les sons environnementaux

Proposée par Gibson en 1979, l'approche écologique s'est essentiellement développée dans le domaine de la perception visuelle. L'hypothèse principale de cette approche s'appuie sur le principe

que toutes les informations nécessaires à la perception sont présentes dans le monde environnant et qu'il suffit de les saisir. Cette approche conduit à ne prendre en compte que des situations naturelles. Cette conception est donc celle d'une perception directe, où l'information est saisie et n'aurait pas à être traitée, comme s'il s'établissait une sorte de résonance automatique entre l'observateur et le monde environnant. Gibson introduit aussi le concept d'affordance qui correspond aux potentialités d'action que les objets nous présentent d'emblée. Les objets « indiqueraient » en quelque sorte ce qu'on peut faire (ou ne pas faire) avec eux. Tijus [TIJ01] donne quelques exemples pour illustrer ce concept. Un chemin de campagne invite à y marcher parce qu'on n'y trouve pas d'obstacle à la marche. Un mur au contraire indique qu'on ne peut pas passer. D'après Gibson, cité par Tijus [TIJ01], ces exemples nous montrent que l'action peut être reliée directement à la perception, tout comme on tourne la tête du côté où est entendu un bruit violent. Gaver, 1993 [GAV93] utilise cette approche pour définir l'écoute quotidienne ou « everyday listening » qu'il oppose à l'écoute musicale ou « musical listening ». L'écoute quotidienne est l'écoute des événements sonores dans le monde plutôt que les sons eux-mêmes. Plus précisément, on écoute la source du son (objet à l'origine du son) ou l'action qui est à l'origine du son produit (son frappé, frotté, ...). L'écoute musicale est une écoute des caractéristiques et propriétés fondamentales du son, telle la hauteur d'un son, son timbre, sa sonie, etc.

Les Auditory Icons (AI) sont une application naturelle de la notion de l'écoute quotidienne. Ce sont des sons de tous les jours, utilisés pour apporter des informations sur un événement par analogie aux événements sonores quotidiens. Gaver a développé cette approche dans le cadre d'une application à l'interface informatique. Par exemple, quand on élimine un fichier sur un ordinateur Apple, un son d'objet jeté dans une corbeille métallique accompagne l'action effectuée [GAV89]. Gaver a étendu l'idée des AI à l'ensemble des actions effectuées sur un ordinateur (ouverture/fermeture d'une fenêtre, déplacement d'un fichier, ...) en proposant un système intégré appelé le SonicFinder. Ce système permettait à l'utilisateur de contrôler les tâches réalisées par lui ou par la machine grâce au canal auditif. Les informations étaient présentées sous forme d'AI dont les caractéristiques sonores pouvaient être paramétrées. L'AI d'un fichier éliminé n'avaient pas le même timbre selon le volume du fichier.

L'approche intuitive et séduisante de Gaver a été adoptée par différents auteurs (Keller, Graham, Jones & Furner, Mynatt, etc...), pour des applications diverses (signaux d'alarme, interface d'ordinateur, ...).

Quelques études ont été menées sur l'utilisation des AI en tant qu'alarme sonore. Dans ces études, les AI sont comparées à d'autres signaux d'alarme sonore comme des sons abstraits ou la parole, ou encore à des signaux d'alarme visuels.

Graham [GRA99] pose l'hypothèse suivante: les AI sont mieux et plus facilement reconnues que les sons abstraits ou la parole. En d'autres termes, il va vérifier que les AI entraînent une réponse plus rapide et plus appropriée d'un conducteur dans une situation de collision que l'utilisation d'un son abstrait ou d'un son de parole. Il choisit donc quatre signaux d'alertes :

- un signal de parole (« ahead ! »)
- un beep (fonction en dent-de-scie à 600 Hz)
- deux icônes auditives

Pour choisir les icônes auditives qu'il va tester, il organise un brainstorming avec ses collaborateurs. À la suite de cette réunion, les AI choisis sont un crissement de pneu tiré d'un jeu vidéo et un klaxon de voiture.

Tous ces sons sont émis à 60 dB et durent 0,7s.

Le sujet est mis en situation de collision, soit par la gauche, soit par la droite, soit devant lui. De plus Graham rajoute lors de son test un bruit de fond correspondant au bruit de fond d'une voiture pour rendre le test plus réaliste.

Graham va effectuer trois mesures :

- Le temps de réaction au freinage ;
- Le nombre de réponses inappropriées, c'est-à-dire le nombre de fois où le conducteur freine alors qu'il ne devrait pas et inversement ;
- Un classement subjectif de ces alarmes en termes de préférence grâce à une échelle ordinale.

Il obtient les résultats suivants :

1. Les AI entraînent un temps de réaction plus court que les alarmes conventionnelles en moyenne 730 ms pour le klaxon, 760 ms pour le crissement de pneu contre 810 ms pour le beep et 850 ms pour la parole ;
2. Les AI entraînent plus de réponses inappropriées ;
3. Les AI sont appréciées pour leur réalisme.

Graham interprète ces trois résultats :

1. Premièrement, du point de vue écologique, la signification inhérente des AI induit des temps de réaction plus rapides ; l'alerte est interprétée plus rapidement et prépare à une action immédiate. Deuxièmement, les temps de réaction courts liés aux AI sont dus au fait que leurs propriétés acoustiques n'ont pas été modifiées, et sont donc très facilement reconnaissables. Enfin, pour la parole, il faut compter un temps d'interprétation du message,
2. Les réponses inappropriées entraînées par les AI ne sont pas « si graves » d'après lui. Les sujets ont freiné alors qu'ils n'étaient pas en situation de collision. De plus Graham remarque que le fait même que les AI entraînent une réponse, même fausse, montre qu'ils ont été bien assimilés,
3. Si une alerte n'est pas appréciée par l'utilisateur ou qu'il la considère comme inappropriée, cette alerte peut l'énerver ou le frustrer ce qui ne va pas entraîner les réactions attendues.

D'après lui les icônes auditives possèdent donc de nombreux avantages par rapport aux sons de paroles ou aux sons abstraits.

Pendant, on peut se demander si Graham, pour son étude, a choisi les « bons » sons abstraits. En effet, d'après Edworthy [EDW 91], une fonction dent-de-scie à 600 Hz n'est pas le plus urgent des sons abstraits.

D'autre part, Graham mesure des temps de détection des alarmes. Ces mesures ne permettent pas de conclure sur l'interprétation des « fausses alarmes » et sur le fait que les AI aient été bien assimilés ou non.

La dernière remarque sur les travaux de Graham porte sur le choix des icônes auditives, notamment sur le klaxon. Le klaxon ne répond pas à notre définition des AI. C'est un son intentionnel qui indique la présence d'un autre véhicule. Quand on entend un klaxon très près (dans sa voiture) on se dit qu'il y a un véhicule très proche que l'on ne l'a pas vu et le réflexe va plutôt être de chercher ce véhicule plutôt que de freiner. L'utilisation d'un vrai klaxon comme icône auditive semble peu adéquate.

Enfin, au niveau méthodologique, Graham effectue 72 mesures par sujet, 16 en situation de « non-collision » et 56 en situation de collision. Il effectue donc 14 mesures par signal d'alarme, toute situation de collision confondue. Le nombre de TR mesuré est bien trop faible pour pouvoir conclure de manière statistiquement fiable [LUC86]. D'autre part, les mesures de TR au pied ne sont pas aussi fiables que les mesures de TR à la main. Le temps de réponse moteur peut être très

différents suivant les sujets. Le temps d'enlever le pied de la pédale d'accélérateur et d'appuyer sur la pédale de frein n'est pas constant et identique pour tous les sujets. Pour des mesures de ce type, il faut absolument séparer le temps de réponse moteur et le temps mis pour assimiler l'information et donner une réponse. Pour des mesures de TR à la main, si tous les sujets ont le doigt posé sur le bouton sur lequel ils doivent appuyer pour donner une réponse, le temps moteur sera alors presque identique pour tous les sujets.

Dans notre étude, nous utiliserons des sons d'animaux, qui sont des sons environnementaux, d'origine naturelle. Ces sons sont les premiers sons évoqués lorsque l'on aborde le sujet de l'urgence, du danger traduits par des sons environnementaux.

Les mesures subjectives sont très utilisées quand on veut évaluer le degré d'urgence d'une alarme. Cependant il est important d'avoir aussi des résultats objectifs qui ne sont pas toujours en adéquation totale avec les résultats subjectifs. Graham a comparé les deux types de mesures. Cependant, les mesures de temps de réaction qu'il effectue ne sont pas exploitables. IL est crucial, lors de la mise en place d'un paradigme expérimental, d'« exagérer » certains fonctionnements du cerveau humain afin d'avoir une chance d'observer les effets de la variable étudiée.

III.2 Mesure du temps de réaction (TR)

Dans l'expérience, nous avons décidé de mesurer des temps de réaction. Le TR est défini comme le temps qui s'écoule entre l'apparition d'un stimulus et la réaction qu'il engendre. La mesure du temps de réaction est une mesure objective. Une mesure subjective aurait été de demander aux sujets de classer les sons entendus du plus urgent au moins urgent sur une échelle ou en les comparant par exemple. Ce qui est intéressant est de savoir comment les personnes vont réagir aux sons. Dans le dictionnaire, l'urgence est définie ainsi : « nécessité d'agir vite, entraîne une action immédiate ». La mesure de temps de réaction s'impose donc d'elle-même.

Cette méthode et les implications théoriques qui en découlent sont expliquées ici en détail. Nous présenterons également une des nombreuses études portant sur le lien entre intensité du stimulus et TR.

III.2.a Influence de la tâche sur le TR

La mesure obtenue du TR dépend de la tâche effectuée par le sujet. De cette mesure, on en déduit une compréhension plus précise des mécanismes cognitifs et perceptifs mis en jeu. Il existe trois tâches décrites par Donders [DON69] et présentées ci-dessous :

Tâche	Exemples de consigne	Étapes de traitement	Modèle de TR
Simple	Appuyer sur le bouton avec la main droite dès que vous entendez un son, quel qu'il soit	1. Détection du stimulus 4. Exécution motrice	$RT = T1 + T4$
Go/No go	Appuyer sur le bouton avec la main droite dès que vous entendez le son X ; n'appuyer pas lorsque vous entendez le son Y	1. Détection du stimulus 2. Discrimination du stimulus 4. Exécution motrice	$RT = T1 + T2 + T4$
Choix	Appuyer sur le bouton avec la main droite dès que vous entendez le son X ; Appuyer sur le bouton avec la main gauche dès que vous entendez le son Y.	1. Détection du stimulus 2. Discrimination du stimulus 3. Sélection de la réponse 4. Exécution motrice	$RT = T1 + T2 + T3 + T4$

Tableau 2 : mesures de temps de réaction suivant la tâche demandée

Comme l'hypothèse testée de notre expérience est tout à fait nouvelle, il faut commencer par un test simple afin d'obtenir des premiers résultats. En mesurant un temps de réaction simple, c'est-à-dire un temps de détection, on va pouvoir observer quels sons (s'il y en a) font réagir plus rapidement. Ces sons seront les plus urgents. On pourra ensuite se demander pourquoi certains sons font réagir plus rapidement. Est-ce grâce à leurs caractéristiques acoustiques, une modulation importante, une attaque brève, un contenu fréquentiel riche par exemple ? Ou est-ce parce que les auditeurs reconnaissent la source qui est potentiellement dangereuse, comme le lion par exemple ? Le « ou » n'est pas exclusif il est fort probable que les deux hypothèses soient liées.

De plus, avec ce genre de mesure, on réduit le côté émotif de l'expérience puisque les sujets n'ont pas à réfléchir, la consigne étant très simple.

III.2.b Influence de l'intensité sur le TR

Des études sur le temps de réaction simple et la sonie ont montré que ces deux mesures sont reliées. Wagner et Florentine [WAG04] utilisent des sons d'une durée de 200 ms. Deux types de sons sont utilisés pour cette expérience. Le premier a une largeur de bande de 124 Hz (940 – 1064 Hz) et le deuxième, une largeur de bande de 1500 Hz (500 – 2000 Hz). Les sujets entendent les stimuli à différentes intensités et doivent appuyer sur un bouton dès qu'ils entendent le son. Quel que soit le type de stimulus, le temps de réaction simple décroît de manière significative quand l'intensité augmente. De même, les sujets entendent deux sons et doivent appuyer sur un bouton pour indiquer quel son est le plus fort. Ils obtiennent ainsi une courbe de sonie. Ils montrent en comparant leur deux types de mesures que les courbes de sonie et de TR en fonction de l'intensité sont tout à fait similaires. Le paradigme de temps de réaction est donc proposé comme une méthode nouvelle et plus puissante pour mesurer la sonie. A retenir de cette expérience, deux sons non égalisés en sonie peuvent donc donner des TR différents.

III.3 Méthode d'analyse des données : analyse de la variance (ANOVA)

Hypothèse testée

Tester une hypothèse est une technique de statistique formelle pour collecter des données afin de répondre à des questions. Chaque question posée dans l'étude doit être statuéée sous forme d'hypothèse nulle. L'hypothèse nulle exprime le fait qu'il n'y a pas de différences entre les valeurs des variables à expliquer qui peuvent être expliquées par les différences des variables explicatives du modèle.

Dans le cas où il n'y a qu'une seule hypothèse nulle, celle-ci est rejetée lorsque des différences significatives sont observées. Si aucune différence n'est détectée, alors l'hypothèse nulle est acceptée.

La valeur typique pour observer une différence significative est 0,05, ce qui correspond à un rejet incorrect 5% du temps si l'hypothèse nulle était vraie. En d'autres termes la probabilité p de se tromper est de 5%. Ce niveau peut être ajusté selon l'étude. Il varie en général entre 0,01 et 0,1 – en général, c'est rejeté au-delà de 0.05 sauf si on souhaite par ex montrer l'effet d'une méthode plutôt qu'une autre par exemple. 0.05 est dit significatif et 0.01 est dit très significatif.

Les variables dépendantes

Les variables dépendantes sont les variables mesurées. Dans la plupart des cas il y a plus d'une variable dépendante mais la variable dépendante doit être une variable numérique continue.

Dans ce rapport, la variable dépendante sera le temps de réaction, cela peut être aussi le nombre d'œufs pondus, ou la concentration d'un produit chimique dans un mélange.

Les variables indépendantes

Ce sont les variables qui peuvent aider à expliquer les différences trouvées pour les variables dépendantes, les variables explicatives. Les variables indépendantes peuvent être la répétition, la race des poules ou la température par exemple. Après une analyse de la variance, il faut se demander s'il est raisonnable ou non de considérer qu'une variable indépendante aide à expliquer les différences observées pour les variables dépendantes du modèle. Cela est donné par le seuil de la valeur p . Quand la valeur de p est faible pour une variable indépendante, cela signifie que son effet n'est pas dû à la chance. En général, la « petite » valeur de p pour savoir si l'effet d'une variable est significatif est de 0,05.

Les mesures répétées

Dans une analyse de la variance à mesures répétées, chaque mesure représente la même quantité, avec les mêmes unités mais dans des conditions différentes. Dans le cadre des expériences présentées dans ce rapport et la plupart du temps, les conditions différentes sont la répétition des mesures.

III.4 Le matériel utilisé

Les expériences que nous avons menées se sont déroulées à l'IRCAM. L'équipe Perception et design sonores dispose d'une cabine audiométrique et de tout l'équipement requis pour mener ces expériences.

Hardware :

- Cabine audiométrique
- Ordinateur Macintosh G5 biprocesseur
- Clavier Macintosh standard
- Souris optique
- Écran plat Sony TFT 19"
- Carte-son RME Hammerfall
- Convertisseur A/D RME ADI-8 PRO
- Amplificateur YAMAHA P2075
- Casque Sennheiser HD 250 linear II
- sonomètre Brüel & Kjaer 2238 Mediator

Software :

- Interface de mesure de TR développée sous Max/MSP/Jitter
- Logiciel SUPER-ANOVA et routines Matlab pour le traitement statistique des résultats
- Routines Matlab pour caractériser les sons
- Logiciel libre Praat (<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>) pour analyser les sons

IV. Pré-requis : Les effets de l'IOI sur le temps de détection pour des sons abstraits

IV.1 Introduction

Avant de commencer l'expérience principale qui vise à comparer des sons abstraits et environnementaux entre eux, il faut savoir s'il existe ou non une différence significative en termes de temps de réaction simple pour les sons abstraits.

Une première étude avait montré un effet significatif du rythme sur le TR, avec 2 sons bien précis [SUI06]. Une expérience complémentaire visant à étendre ces premiers résultats a été menée en parallèle du stage par Clara Suied.

IV.2 Procédure

13 sujets ont participé à cette expérience. La consigne est d'appuyer sur la barre d'espace dès qu'ils entendent un son.

Les quatre alarmes abstraites utilisées lors de cette expérience suivent les recommandations de Patterson [PAT82]. Elles ont été synthétisées avec Matlab. Elles sont échantillonnées à 44100 Hz et quantifiées sur 16 bits en mono.

Ces alarmes sont construites à partir du même pulse qui dure 20 ms dont 5 ms d'attaque et 5ms de décroissance. La porteuse est une sinusoïde pure à 1000 Hz. Ces alarmes sont des bursts uniques composés de répétitions de ce pulse, séparées par des périodes de silence variables.

Les alarmes sont décrites grâce aux paramètres IOI (Inter Onset Interval). Il représente la durée en ms séparant les attaques de deux bursts successifs. Les quatre alarmes sont données par les séries d'IOIs suivants :

Alarme	Numéro du son
IOI 100 ms	S 1
IOI 50 ms	S 2
IOI 33 ms	S 3
IOI 25 ms	S 4

Tableau 3 : récapitulatif des IOI

Les 4 sons d'alarmes sont égalisés en sonie et diffusés à un niveau moyen de 70 dB SPL.

Effet de l'IOI

L'IOI a un effet très significatif sur le temps de réaction ($p < 0.001$). En moyenne, les sujets détectent l'alarme avec un IOI de 100 en 258,5 ms alors qu'ils détectent l'alarme avec un IOI de 25 ms en 250 ms. Cette différence de seulement 8,5 ms est très significative. **Les auditeurs détectent plus rapidement un son qui a un IOI plus court.**

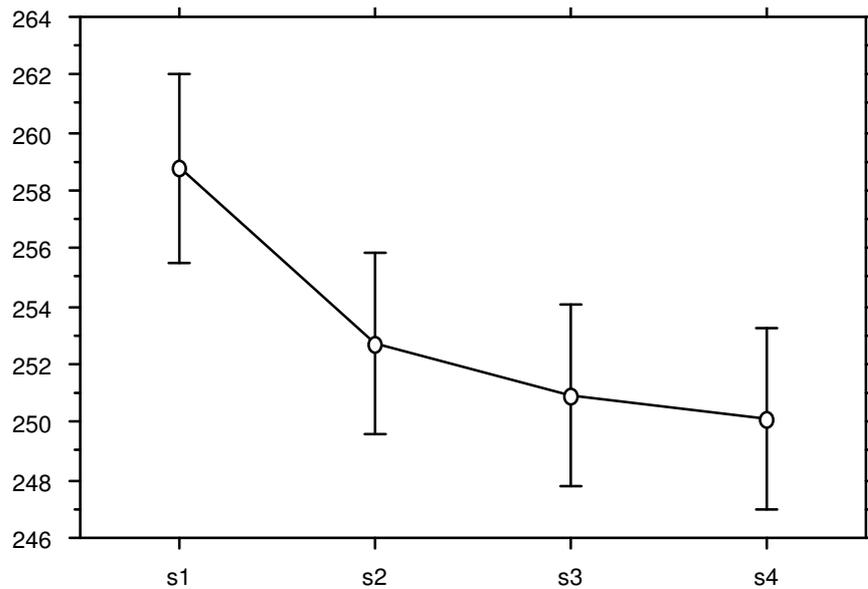


Figure 1 : TR (ms) en fonction de l'IOI

Entre l'alarme d'IOI égal à 33ms et l'alarme d'IOI égal à 25 ms, il y a, en moyenne, une différence de moins d'une milliseconde. On observe un palier pour la vitesse du temps de réaction à partir d'un IOI de 33 ms pour un son abstrait. Ce palier se situe environ à 250 ms.

V. Expérience Principale : Les effets de la nature du son sur le temps de détection

V.1 Introduction

V.1.a Problématique

Cette expérience permet de tester l'effet de la nature du son (abstrait vs environnemental) sur la réaction d'un auditeur et de comparer des sons de même nature entre eux.

V.1.b Objectifs de l'expérience

Cette expérience a pour but de répondre aux questions : un son environnemental naturel est-il plus rapidement détecté qu'un son abstrait ? Pourquoi tel ou tel son est-il détecté plus rapidement qu'un autre de même nature, en particuliers les sons d'animaux ? Donc quelle est la nature du son à utiliser si l'on veut avoir des alarmes performantes ?

V.2 Les sons utilisés

V.2.a Les alarmes abstraites

Les alarmes abstraites utilisées lors de cette expérience sont les mêmes que celles utilisées dans l'expérience de pré-requis citée plus haut. Il est également possible de décrire ces sons comme étant des sons purs modulés. Pour toutes ces alarmes, la fréquence porteuse est de 1000 Hz et l'amplitude de modulation vaut 1. Seule la fréquence de modulation va changer pour ces sons.

IOI	« Modulation » associée
IOI 100 ms	10 Hz
IOI 50 ms	20 Hz
IOI 33 ms	33 Hz
IOI 25 ms	40 Hz

Tableau 4 : IOI et modulation associée

V.2.b Les sons d'animaux

Introduction

Les quatre sons qui complètent les stimuli sont des sons d'animaux. Les sons d'animaux sont des sons environnementaux. Pour cette expérience, nous avons choisi des animaux qui sont potentiellement dangereux pour l'homme : un lion, un jaguar et deux léopards. Bien que nous ne soyons pas habitués à rencontrer ces animaux en liberté en France, ils ont tout de même un potentiel de dangerosité important.

Le cri de ces animaux est lui-même menaçant. Ces sons sont tirés d'une bibliothèque sonore disponible à l'Ircam : SoundIdeas. On ne sait donc pas dans quel contexte exactement ont été enregistrés ces sons. D'après Morton [MOR77], les cris les plus agressifs sont des grognements, des

feulements et des rugissements. Les cris non agressifs sont plutôt des couinements, ou des sifflements. Nous avons donc choisi des rugissements qui sont plutôt agressifs. De plus, une petite description accompagne chaque son dans SoundIdeas, nous nous assurons ainsi que ce ne sont pas des cris de jeux, ni de bébés, etc...

Pour une sonie de 70 dB, le temps de réaction moyen est d'environ 250 ms [WAG04]. Bien que les sons utilisés dans l'expérience suivante soient des sons complexes, leur durée est fixée à 220 ms. On peut ainsi penser que les sujets entendront le son entier avant d'appuyer sur la touche. Pour éviter un « clic » en fin de son, un offset linéaire de 10 ms a été ajouté.

Descripteurs acoustiques utilisés

Pour tous ces sons, on vérifie que le HNR (harmonic-to-noise-ratio) est identique. Il détermine le degré de périodicité d'un signal sonore. Cette mesure quantifie l'énergie des harmoniques présentes dans le son par rapport au « bruit » qui représente l'énergie acoustique non-harmonique, irrégulière ou chaotique. Cette mesure est faite à partir du logiciel Praat (<http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>).

On évalue ensuite la hauteur du son. On utilise encore le logiciel Praat, qui a été développé pour la synthèse vocale mais qui s'applique bien aux cris d'animaux [MUR06]. Cette hauteur s'assimile à la fréquence porteuse. Autour de cette fréquence porteuse, il y a une modulation. La fréquence de modulation est calculée sous Matlab. Ce programme calcule l'enveloppe d'énergie du signal puis détecte les pics d'amplitude. Nous obtenons ainsi la modulation du signal et l'amplitude de modulation.

Description des sons

Le lion

Le premier son (s1) de cette expérience est un rugissement de lion. Il a été choisi car il est reconnaissable en 220 ms. C'est un rugissement grave, la hauteur est de 256 Hz. Ce signal module à 40 Hz avec une amplitude de modulation de 0,4. Son HNR est de 0,84. L'attaque de ce son dure environ 70 ms.

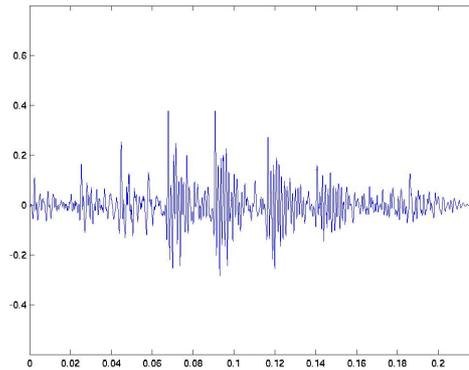


Figure 2 : représentation temporelle du lion

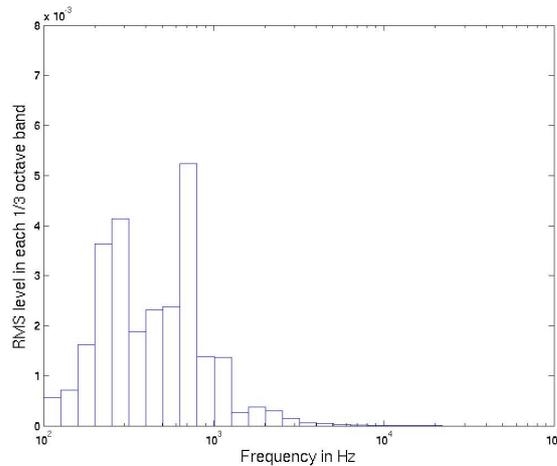


Figure 3 : représentation de l'énergie par tiers d'octave

Le léopard

Les sons 2 et 3 sont des cris de léopards. Ils ont été coupés pour durer 220 ms et ils sont reconnaissables comme sons d'animaux. Le son s2 a une hauteur de 466 Hz. Sa fréquence de modulation est de 40 Hz comme le lion et il a une amplitude de modulation de 0,4. L'attaque du son s2 est rapide, elle dure environ 40 ms.

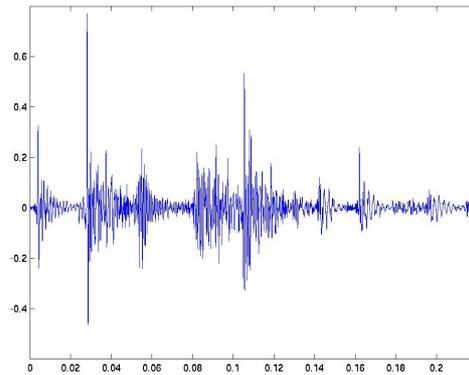


Figure 4 : représentation temporelle du léopard

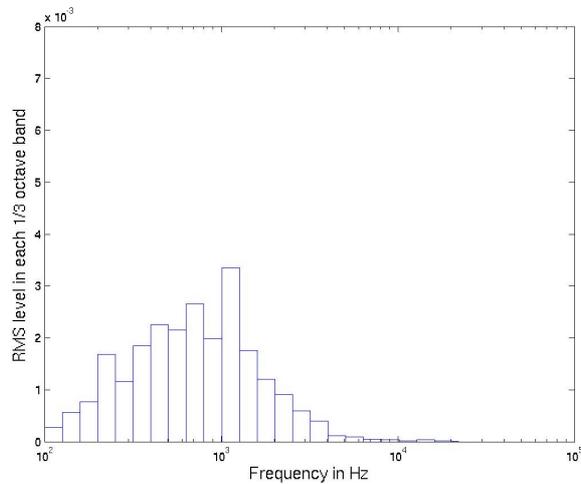


Figure 5 : représentation de l'énergie par tiers d'octave

Le son s3 a une hauteur de 374 Hz. La fréquence de modulation est de 45 Hz environ et a une amplitude de 0,2. L'attaque de ce son dure 40 ms.

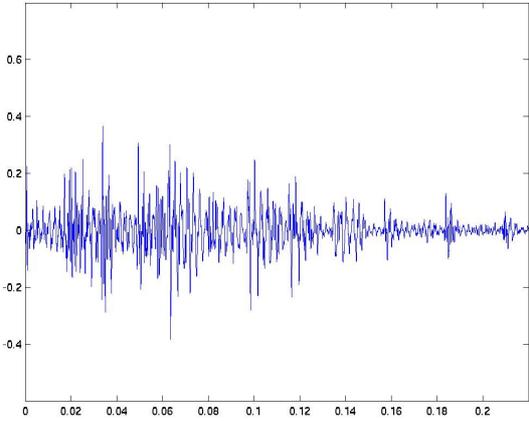


Figure 6 : représentation temporelle du léopard

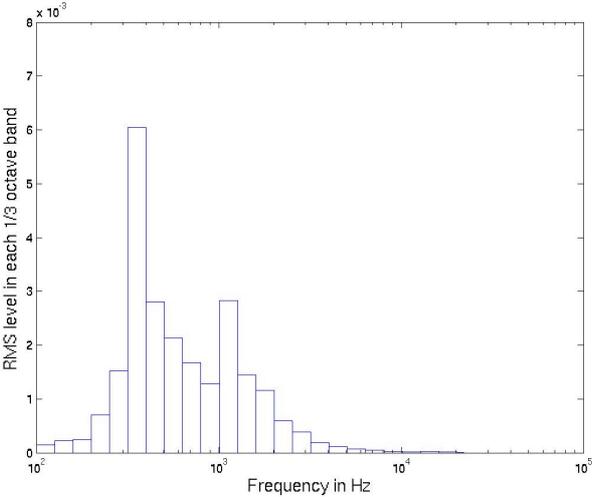


Figure 7 : représentation de l'énergie par tiers d'octave

Le jaguar

Le quatrième et dernier son d'animal est un cri de jaguar. Le HNR vaut 0,74 dB. La fréquence porteuse, ou hauteur est de 256 Hz, la fréquence de modulation est de 60 Hz avec une amplitude de 0,2. L'attaque est très courte, elle dure environ 5 ms.

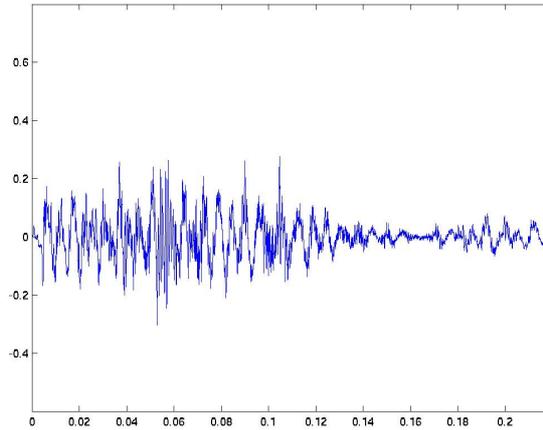


Figure 8 : représentation temporelle du jaguar

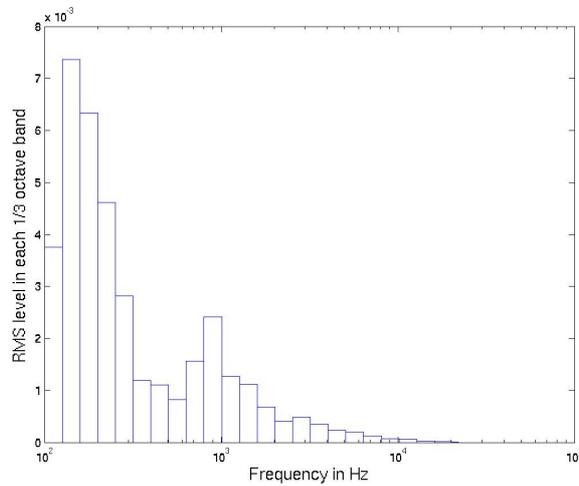


Figure 9 : : représentation de l'énergie par tiers d'octave

V.2.c Récapitulatif des sons utilisés dans l'expérience

Dans cette expérience les sons sont numérotés dans l'ordre suivant : les sons d'animaux puis les sons abstraits de la modulation la plus lente à la plus rapide dans chaque catégorie.

Nom du son	Numéro du son
Lion	S1
Léopard	S2
Léopard	S3
Jaguar	S4
IOI 100	S5
IOI 50	S6
IOI 33	S7
IOI25	S8

Tableau 5 : récapitulatif des sons

V.3 Méthode

V.3.a Les sujets

13 sujets (9 femmes et 4 hommes, moyenne d'âge : 36,5 ans) ont participé à cette expérience. Ces sujets ne présentent ni troubles auditifs, ni troubles psychomoteurs. Ils sont rémunérés 10 euros pour leur participation à l'expérience qui dure une heure environ.

V.3.b Plan expérimental

La variable dépendante : le Temps de Réaction (TR)

Dans le cadre de cette expérience, la variable dépendante est le TR du sujet aux sons. Dans cette expérience, le stimulus est un son d'animal ou une alarme abstraite. La réaction attendue de la part du sujet est de presser le bouton-réponse dès qu'il entend un son. Le TR est donc le temps qui s'écoule entre le déclenchement de l'alarme et la pression sur le bouton-réponse.

D'une manière générale, les TR sont des grandeurs fortement variables, même pour un sujet et un stimulus fixés. C'est pour cela qu'ils sont traités comme des variables aléatoires : il faut les étudier grâce à une approche statistique basée sur un grand nombre d'observations. L'expérience est donc découpée en 6 blocs afin d'alléger le travail des sujets pour éviter les effets de fatigue. Au sein de chaque bloc, 96 sons sont diffusés (chaque son est diffusé 12 fois). Pour chaque sujet, 72 TR sont donc mesurés pour chaque son à la fin de l'expérience.

Les variables indépendantes

Les variables indépendantes sont manipulées par l'expérimentateur afin d'observer leurs effets supposés sur la variable dépendante (le TR). Les variables indépendantes pour cette expérience sont les suivantes :

- le bloc expérimental

- le son
- la répétition de l'alarme

L'expérience a un design 6*8*12, ce qui signifie que la variable « bloc » prend 6 modalités (bloc 1, bloc 2, ...). La variable « son » prend 8 modalités, quelle que soit la nature ou la fréquence de modulation du son et la variable « répétition » prend 12 modalités (12 répétitions par son). En croisant ces variables indépendantes, on obtient un jeu de 576 conditions expérimentales distinctes. L'ensemble de ces 576 conditions expérimentales est présenté à chaque sujet.

Les blocs ont une durée aléatoire puisque les 96 sons sont diffusés aléatoirement. Entre deux sons, il se passe 1 seconde plus un délai supplémentaire et aléatoire compris entre 0 et 6 secondes. Les blocs durent donc entre 1,6 min et 9,6 min, soit 5,6 min en moyenne.

V.3.c Protocole expérimental

Les sons sont diffusés à des moments aléatoires (afin d'interdire leur anticipation) et en ordre aléatoire (afin de s'affranchir d'un éventuel effet sériel). Au préalable toutes les alarmes ont été égalisées en sonie et elles sont diffusées à un niveau moyen de 70 dB.

Le sujet doit répondre à ces sons en pressant un bouton-réponse (la barre « espace » du clavier de l'ordinateur) avec sa main dominante. Les consignes spécifiques sont les suivantes :

- réagir aux sons dès que possible.
- garder les doigts posés en permanence sur le bouton-réponse pour réduire la variabilité du TR due uniquement au geste effectué pour répondre.

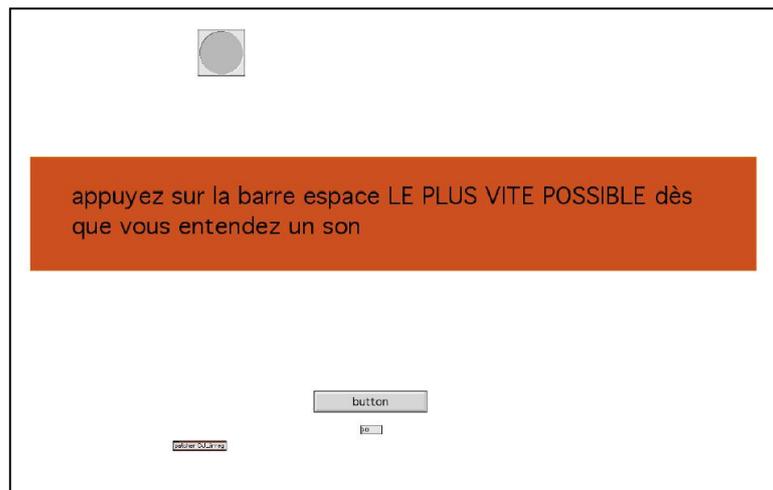


Figure 10 : interface vue par le sujet pendant l'expérience

V.4 Résultats et discussion

V.4.a Vérification des données

Lors de cette expérience une erreur de programmation est intervenue pour le premier sujet, ses résultats ne sont donc pas exploitables. Pour les douze sujets restants, on s'assure que les résultats sont cohérents.

Dans un premier temps, on remplace les oublis qu'un sujet a pu faire, c'est-à-dire qu'il n'a pas appuyé sur la barre d'espace, par la moyenne de tous ses temps de réaction. Lors de cette expérience, un sujet a oublié d'appuyer une fois sur la touche. Ce genre d'oubli est très rare quand il n'y a pas de contexte attentionnel élevé.

Ensuite, on calcule les "outliers" de chaque sujet. On définit l'outlier comme étant un temps de réaction qui sera supérieur à la moyenne du temps de réaction plus ou moins deux fois l'écart type. Une fois que l'on a vérifié que les outliers n'étaient pas trop nombreux (10 maximum par bloc) et étaient bien répartis suivant le type de son, ils sont remplacés par la moyenne globale des temps de réaction du sujet.

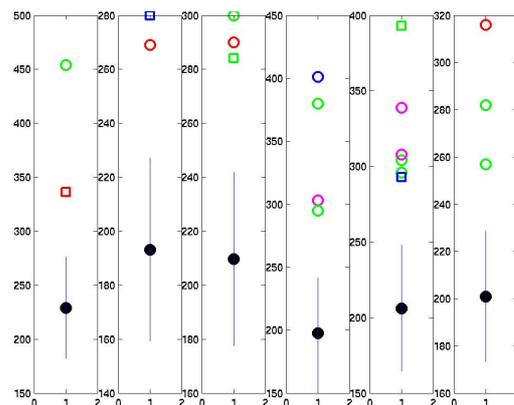


Figure 11 : Exemple de vérification pour un sujet : avec la moyenne du TR par bloc et l'écart type, en couleur on voit apparaître les outliers en couleur, chaque couleur représentant un son

V.4.b Effet de la nature du son

Pour une première analyse de l'influence de la nature du son sur le temps de détection, les résultats de tous les sujets sont pris en compte.

Après avoir analysé ces résultats avec le logiciel super ANOVA, nous obtenons ce tableau :

Type III Sums of Squares

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F-Value	P-Value	G-G	H-F
Subject	11	6759068,415	614460,765				
bloc	5	208420,884	41684,177	,756	,5855	,4785	,5000
bloc * Subject	55	3033460,006	55153,818				
son	7	366182,449	52311,778	19,460	,0001	,0001	,0001
son * Subject	77	206994,355	2688,238				
repetition	11	43672,640	3970,240	1,502	,1391	,2075	,1594
repetition * Subject	121	319802,448	2642,995				
bloc * son	35	28334,559	809,559	,568	,9784	,7852	,9445
bloc * son * Subject	385	548564,648	1424,843				
bloc * repetition	55	175523,614	3191,338	1,006	,4659	,4259	,4461
bloc * repetition * Subject	605	1919199,183	3172,230				
son * repetition	77	128521,657	1669,112	1,253	,0763	,2839	,2068
son * repetition * Subject	847	1127846,935	1331,578				
bloc * son * repetition	385	496655,679	1290,015	,991	,5404	,4512	,4911
bloc * son * repetition * Subj...	4235	5513865,594	1301,975				

Dependent: Compact Variable 1

Tableau 6 : analyse de la variance

Pour qu'un paramètre ait une influence significative, il faut que sa valeur p soit inférieure à 0,05. Les effets du bloc et des répétitions qui se traduisent par les effets de la fatigue ne sont pas significatifs. Le seul effet significatif observé ici est donc la nature du son ($p < 0,001$). De plus la valeur F est très grande ce qui confirme bien un effet seulement de la nature du son. En traçant le graphe représentant le temps de réaction moyen en fonction de chaque son, on observe nettement le phénomène. On observe aussi ce phénomène ($p < 0,001$) en comparant les deux catégories. La catégorie « animal » regroupe le temps de réaction moyen mesuré pour tous les animaux. La catégorie « abstrait » regroupe le temps de réaction moyen calculé pour toutes les alarmes abstraites.

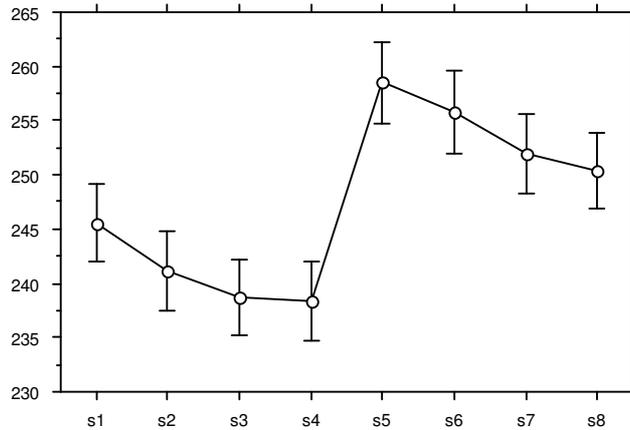


Figure 12 : TR (ms) moyen en fonction du son

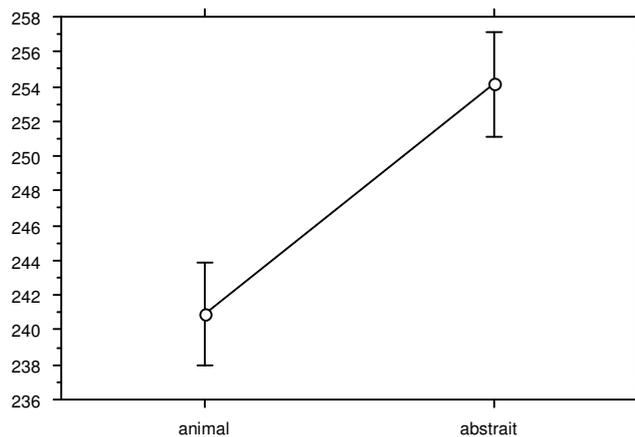


Figure 13 : TR (ms) moyen en fonction de la nature du son

En moyenne, les auditeurs ont un temps de réaction plus court aux sons d'animaux qu'aux alarmes abstraites.

Il existe une différence significative ($p=0,03$) entre le son 1 et le son 8. Le son 1 est le son du lion modulant à 40 Hz environ. Le son 8 est l'alarme abstraite avec un IOI de 25 ms, soit une modulation de 40 Hz aussi. Le fait qu'une différence existe confirme que pour une même vitesse de modulation, les sons d'animaux comme le lion sont détectés plus rapidement que les alarmes abstraites.

Cette différence peut s'expliquer de deux manières. Si l'on se place dans un cadre acoustique, les sons d'animaux sont des sons complexes qui ont une large bande de fréquence. Les sons abstraits sont des sons purs à 1000 Hz, plus pauvres fréquentiellement.

D'autre part, les sons d'animaux sont identifiés comme tels très rapidement au cours des écoutes successives par l'auditeur. Les alarmes abstraites ne signifient rien pour le sujet qui sera plus prompt à répondre à un signal « connu ».

V.4.c Effet de la modulation

Les sons abstraits

Dans un premier temps, on s'intéresse à l'effet de la modulation pour les sons abstraits. Après s'être assuré que tous les sujets ont répondu correctement pour ce groupe de sons, les résultats de l'ANOVA sont étudiés.

Comme dans l'expérience sur l'effet de l'IOI, on remarque un effet de la modulation sur le temps de réaction ($p= 0,05$). Pour l'alarme abstraite avec un IOI de 100 ms, le temps de réaction moyen est de 258,5 ms et pour l'alarme avec un IOI de 25 ms, le temps de réaction moyen est de 250,5 ms. **Les auditeurs réagissent plus rapidement quand l'alarme module plus rapidement.**

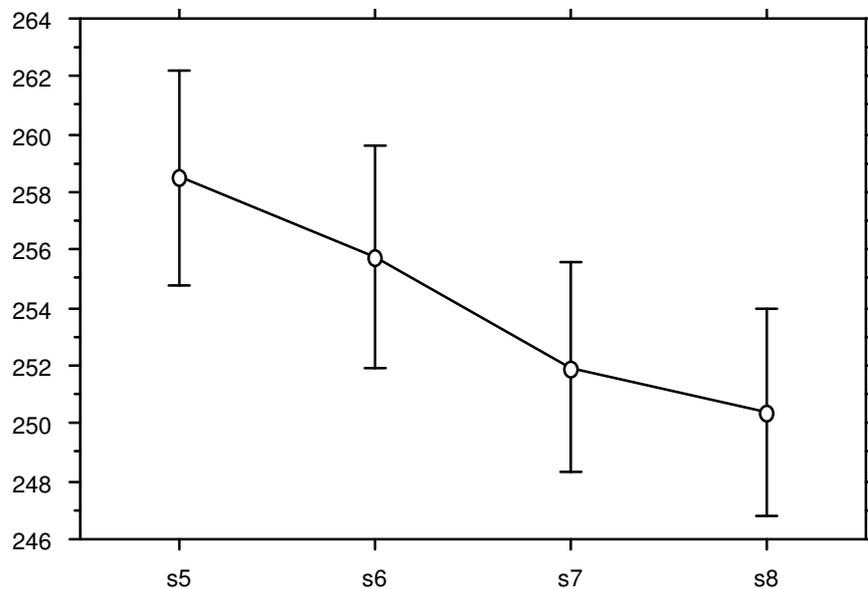


Figure 14 : TR moyen (ms) en fonction du son

Si l'on considère que le silence n'est pas une information, les auditeurs reçoivent plus d'information avec un son qui module rapidement, ce qui le fait répondre plus rapidement. Les alarmes abstraites ne diffèrent que par cette vitesse de modulation, c'est pourquoi c'est bien cette vitesse qui est responsable du phénomène observé.

Les sons d'animaux

On observe un effet de la modulation sur le temps de détection très significatif ($p=0,012$). Pour le son de lion, le temps moyen de détection est de 245,5 ms et il est de 238,5 ms pour les sons 3 et 4, respectivement, léopard modulant à 50 Hz et jaguar modulant à 60 Hz. **Les temps de détection des auditeurs sont plus courts lorsque les sons d'animaux modulent plus rapidement.**

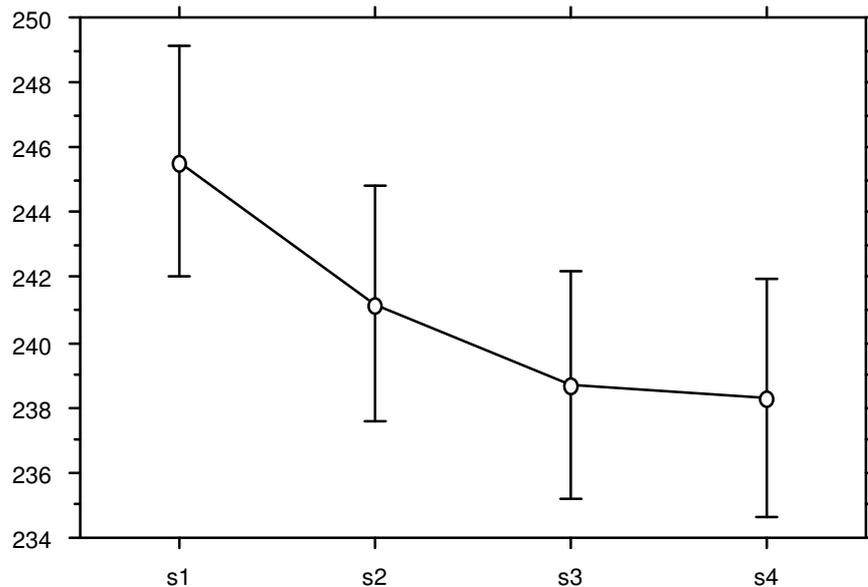


Figure 15 : TR moyen (ms) en fonction du son

Toutefois cette conclusion n'est pas tout à fait exacte. En effet, les sons 1 et 2 ont la même fréquence de modulation, égale à environ 40 Hz. Nous allons donc comparer maintenant ces sons.

Comparaison son 1 / son 2

Le son 1 est le rugissement du lion modulant à 40 Hz avec une amplitude de 0,4. Le son 2 est le cri du léopard, modulant à la même fréquence avec la même amplitude. En faisant une analyse sur tous les sujets pour ces deux sons, on trouve une différence de temps de réaction significative ($p = 0,0142$). Il existe donc des différences acoustiques entre ces deux sons qui peuvent expliquer cette différence de TR.

La hauteur diffère entre ces deux sons, pour le lion, elle est de 256 Hz et pour le léopard, elle est de 466 Hz. Cependant la hauteur du son 3 (374 Hz) est inférieure à la hauteur du son 2 et celui-ci est détecté plus rapidement. Il serait donc faux de dire que plus la hauteur est élevée, plus le son est détecté rapidement.

L'information fréquentielle contenue dans les deux sons est différente. Quand on compare les deux spectres des sons, on remarque que le spectre du lion est moins riche que le spectre du léopard. Cette explication semble réaliste car elle explique déjà la différence entre les sons abstraits et

les sons d'animaux. Cela pourrait vouloir dire qu'un son est détecté plus rapidement s'il contient plus d'informations fréquentielles.

V.5 Discussion générale

Lors de cette expérience, le but était de répondre à la question : « la nature du son influence-t-elle sur le temps de détection ? ». Dans ces analyses, nous ne prenons pas en compte le côté émotif de l'expérience ; cependant, il n'existe pas de critères pour le mesurer. Il existe une différence significative entre les temps de réaction des deux types de sons. Ainsi, de manière globale, les sons d'animaux sont détectés plus rapidement que les sons abstraits. Ces sons d'animaux sont des sons de félins qui sont des animaux dangereux et dont le cri a sans doute un caractère urgent pour les humains. Les sons abstraits ont été construits suite à l'expérience mentionnée dans [SUI06]. Cependant le caractère d'urgence des sons n'a pas été mentionné aux sujets avant et durant l'expérience. Objectivement, les sons d'animaux choisis sont donc de meilleures alarmes que les sons abstraits. Cela peut s'expliquer car le contenu fréquentiel des sons d'animaux est beaucoup plus riche que celui des alarmes abstraites qui sont des sons purs.

Il est également possible que, outre cette différence fréquentielle importante, les sons d'animaux aient été reconnus « instinctivement » par les sujets, et que cette reconnaissance soit à l'origine d'un TR plus rapide.

L'autre question soulevée était de comprendre pourquoi on observe des différences de temps de réaction entre les sons de même nature. Pour les alarmes abstraites, l'explication vient de la fréquence de modulation. Plus l'IOI est court, plus le temps de réaction est court.

Cette explication est possible pour expliquer les différences de temps de réaction entre les sons d'animaux, cependant elle n'est pas suffisante. Car pour une même modulation, on observe une différence de temps de réaction. Cette différence peut être due à l'information fréquentielle ou à la distribution de l'énergie du signal.

La question qui naturellement se pose maintenant est de savoir si les sons d'animaux sont détectés plus rapidement grâce à leurs contenus fréquentiels plus riches ou grâce à une reconnaissance, même partielle de la source. Les deux hypothèses sont sans doute liées comme nous l'avons remarqué dans cette première expérience avec les deux premiers sons d'animaux. Pour pouvoir approfondir la question, l'expérience suivante envisagée est du même type que celle-ci. Une mesure de temps de réaction paraît la meilleure solution pour obtenir un classement objectif des alarmes. On comparerait alors les sons d'animaux originaux à des sons ayant le même contenu fréquentiel mais qui ne seraient pas reconnaissables en temps qu'animaux.

VI. Conclusion générale

Il s'agit ici uniquement d'observations relatives à la manière dont le projet a été mené, les conclusions propres à la synthèse des résultats sur le travail se trouvant au paragraphe précédent, sous la forme d'une discussion générale.

Durant ce stage à l'Ircam, j'ai découvert la recherche dans un laboratoire public. Cette nouvelle expérience m'a beaucoup plu. J'ai découvert la psychoacoustique et les sciences cognitives et j'ai même effleuré la neuroscience ce qui a été très enrichissant.

Lors de la première phase de bibliographie, j'ai appris à résumer des articles. J'ai aussi appris à être critique, à avoir un point de vue extérieur sur ces articles. Grâce à ces lectures, j'ai appris beaucoup de théorie et de façon d'aborder des problèmes. En plus de découvrir les sons environnementaux et leur utilisation, j'ai pu découvrir des méthodes de mesure comme les échelles ou le temps de réaction que j'ai mis en œuvre.

La phase de mise en place du protocole expérimental a été très importante durant ce stage. Une fois l'hypothèse fixée clairement, nous avons eu de nombreuses discussions sur la méthode à appliquer pour pouvoir répondre à nos questions. Il a donc fallu proposer des méthodes, les justifier, les tester pour ensuite les améliorer ou les abandonner.

Finalement une fois que le protocole a été choisi, il a fallu prendre contact avec des sujets, les recevoir et les guider durant l'expérience. Cela a été très enrichissant au niveau relationnel.

La phase de dépouillement et d'analyse des résultats a été très plaisante aussi. Les résultats obtenus sont très intéressants. Il est très plaisant d'obtenir des résultats concluants après tout le travail qui a été effectué en amont.

La rencontre avec des chercheurs passionnés par leur métier a été très enrichissante. Travailler à l'Ircam pendant six mois a été une expérience très agréable et très stimulante intellectuellement et j'en suis très satisfaite.

VII. Références bibliographiques

- [DON69] Donders F.C., (1969) *On the speed of mental processes* in Acta Psychologica 30. Attention and Performance II (W.G. Koster, ed.) 1969, 412-431
- [EDW91] Edworthy J. , Loxley S. & Dennis I. (1991) *Improving Auditory Warning Design : Relationship between Warning Sound Parameters and Perceived Urgency* in Human Factors, 1991, 33(2) (pp. 205-231)
- [GAV89] Gaver W. (1989) *The SonicFinder : An Interface That Uses Auditory Icons* in Human-computer Interaction, 1989, Volume 4 (pp.67-94)
- [GAV93] Gaver W. (1993) *What in the World Do We Hear ? : An Ecological Approach to Auditory Event Perception* in Ecological Psychology, 5(1) (pp. 1-29)
- [GRA99] Graham R. (1999) *Use of auditory icons as emergency warnings : evaluation within a vehicle collision avoidance application* in Ergonomics, 1999, volume 42, n°9 (pp. 1233-1248)
- [LUC86] Luce R. D. (1986) *Response times : their role in inferring elementary mental organisation*, Oxford Psychology Series – 8, Oxford Science Publications
- [MOM89] Momtahan and Tansley (1989). *An ergonomic analysis of the auditory alarm signals in the operating room and recovery room*. Annual Conference of the Canadian Acoustical Association, Halifax, Canada.
- [MOR77] Morton E. S. (1977) *On the Occurrence and Significance of Motivation-Structural Rules in Some Bird and Mammal Sound* in The American Naturalist, September-October 1977, volume 111, n°981
- [MUR06] Murray M.M., Camen C., Gonzales Andino S.L., Bovet P., Clarke S., *Rapid Brain Discrimination of Sounds of Objects* in The Journal of Neuroscience, January 25, 2006 (pp. 1293-1302)
- [PAT82] Patterson (1982) *Guidelines for auditory warning systems in civil aircraft* (Report 82017). London : Civil Aviation Authority
- [STA99] Stanton N. & Edworthy J. (1999) *Auditory Warning Affordances* in Human Factors, 1999 (pp. 113-127)
- [SUI06] Suied C., Pruvost L., Susini P., Misdariis N.,(2006) *Speeded detection of sound signals based on temporal differences* in JASA, may 2006
- [TIJ01] Tijus C. (2001) *introduction à la psychologie cognitive* , collection fac. , édition Nathan Université
- [WAG04] Wagner E., Florentine M., Buus S., McCormack J. (2004) *Spectral loudness summation and simple reaction time*, in Acoustical Society of America, September 2004 (pp. 1681-1686)