



Interaction animal machine : dispositif connecté pour chien d'assistance.

Germain Lemasson

► To cite this version:

Germain Lemasson. Interaction animal machine : dispositif connecté pour chien d'assistance.. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Bretagne Sud, 2016. Français. NNT : 2016LORIS414 . tel-01430155

HAL Id: tel-01430155

<https://theses.hal.science/tel-01430155>

Submitted on 9 Jan 2017

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

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



THESE / UNIVERSITE DE BRETAGNE-SUD
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE BRETAGNE-SUD

Mention :
Ecole doctorale: SICMA

Présentée par **Germain Lemasson**

Préparée à l'unité mixte de recherche
(n°) 6285

Etablissement de rattachement Université Bretagne Sud

Nom développé de l'unité : Lab-STICC - Laboratoires des
Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication
et de la Connaissance

Interaction Animal Machine : Dispositif connecté pour chien d'assistance

Thèse soutenue le 29 septembre 2016
devant le jury composé de :

Rapporteurs :

M. Pierre Blazevic
Professeur à l'Université Versailles Saint-Quentin

M. Josep Luis De La Rosa
Professeur à l'Université de Gironne

Examineurs :

Mme. Sylvie Pesty
Professeure à l'Université Grenoble Alpes

M. Dominique Duhaut (Directeur de thèse)
Professeur de Université Bretagne Sud

M. Philippe Lucidarme (Co-Encadrant)
Maître de conférences à l'université d'Angers

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Dominique Duhaut, de m'avoir proposé ce sujet de thèse, je n'aurais pas pu rêver d'un sujet si intéressant et si enrichissant. Je lui suis reconnaissant pour le temps conséquent qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques, sa franchise et sa sympathie.

Je remercie Philippe Lucidarme, mon co-encadrant de thèse, de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire et toute l'aide qu'il m'a apportée quant à la conception des prototypes réalisés au cours de ces travaux.

Je remercie M. Pierre Blazevec, et M. Pepe Luis De La Rosa, d'avoir accepté la charge de rapporteur. Je remercie également Sylvie Pesty, d'avoir accepté le rôle de président du jury de soutenance de cette thèse.

Je tiens à remercier l'association Handi'Chiens et particulièrement leurs centres de formation d'Alençon et de Lyon avec qui j'ai eu le plaisir de travailler. Merci aux éducateurs Vincent Rezé, Isabelle Marie, Jérôme Cavalier et Cynthia Poupelin d'avoir bien voulu participer à mes expérimentations. Merci à Jérôme Bertrand Directeur du centre de Handi'Chien de Lyon pour m'avoir fait participer au stage de remise des chiens, ce qui a été très enrichissant sur le plan professionnel et personnel.

Je remercie également tous les membres du Laboratoire du Lab-STICC de Lorient et l'équipe MAGMA à Grenoble pour leur accueil et leur bonne humeur ce qui a rendu ces quatre années de thèse particulièrement agréable. Je remercie le Département Informatique de l'IUT2 de Grenoble de m'avoir accueilli au sein de leur équipe et m'avoir fait découvrir l'enseignement durant cette dernière année de thèse en tant qu'ATER. Je tiens à remercier toute l'équipe du FabMSTIC de m'avoir accueilli et particulièrement Jérôme Maisonnasse pour son aide. Je tiens également à remercier Christian Roland, Alexis Aulery, Nadine Mandran, Dimitri Masson pour leurs nombreux conseils dans leurs domaines respectifs. Je remercie également tous les personnels administratifs lorientais et grenoblois avec qui j'ai travaillé et plus particulièrement Florence Palin et Virginie Guillet pour leur travail remarquable et surtout leur bonne humeur.

Je remercie également les membres de mon association Šikula Robotik pour leurs conseils et plus spécialement Valère Alibert, le président de l'association et surtout ami, pour son aide, ses judicieux conseils et de m'avoir appris tant de choses en électronique sans quoi le projet ne serait pas ce qu'il est aujourd'hui.

Je remercie tous mes collègues doctorant et mes amis de Lorient, de Grenoble et d'ailleurs : Julien Rechart, Anaele Lefeuve, Alexandre Kostsenko, Cedric Seguin, Benoit Langard, Morgane Deroine, Marie Aline Hélias, Kevin Henry, Erwan Guitton, Marion Lorient, Fanny Guennoc, Mathilde Trehin, Marine Lan, Ronan Douguet, Jean Christophe Mogere, Clara Jimenez-Saelices, Abdeldjalil Ramoul, Wafa Johal, Amr Alyafi, Quentin Galvane, Benjamin Allain, Olivia Truffet, Annie Radet, Aude Rabier.

Un remerciement spécial à Laetitia Marrot et Lauren Thevin pour avoir participé à mes expérimentations avec leur chien respectif Helias et Jaloux.

Un grand merci, à la plus belle rencontre que j'ai faite durant ces quatre ans de thèse, ma chère et tendre, pour son soutien et ses encouragements durant la rédaction fastidieuse de ce manuscrit.

Enfin, je remercie ma mère qui m'a soutenu et encouragé tout au long de mes études et sans qui je n'en serais pas là aujourd'hui.

Je souhaite finir ce préambule en remerciant tous nos amis à quatre pattes avec qui j'ai pu travailler et qui m'ont prouvé que le chien est véritablement le meilleur ami de l'homme : Calipso, Geny, Gallion, Balzac, Helia, Jaloux, Heka, Hapolo, Holmes, Helios, Hayco, Heros, Image, Inuit, Islande, Izar, Isacc, Item, Ilou, Icar, Izmir, Iloo, Iuko.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	2
Introduction	11
I. ÉTAT DE L'ART	14
I.1. L'ÉTUDE DES CHIENS	15
I.1.1. L'homme et le chien	15
I.1.1.1. Les origines incertaines du chien	15
I.1.1.2. Les services rendus par les chiens	16
I.1.1.3. Les différentes races de chiens	17
I.1.2. Les spécificités du chien	18
I.1.2.1. Les différents sens du chien	18
I.1.2.2. La communication du chien	19
I.1.3. L'expérimentation animale	21
I.1.3.1. Rétrospective	22
I.1.3.2. Les objectifs	22
I.1.4. Synthèse	23
I.2. LA RECHERCHE EN INTERACTION ANIMAL-MACHINE	24
I.2.1. L'émergence de l'IAM	25
I.2.2. Les cibles de l'IAM	26
I.2.2.1. Les animaux d'élevages	26
I.2.2.2. Les animaux sauvages	28
I.2.2.3. Les animaux de compagnie	28
I.2.3. Le chien au travail et l'IAM	31
I.2.3.1. Le recueil d'informations venant du chien	32
I.2.3.2. La transmission d'informations au chien	36
I.2.4. Synthèse	38
I.3. INTERFACES MOBILE ET ACCESSIBILITÉ	39
I.3.1. Le handicap	39
I.3.1.1. Classification International du Handicap (CIH)	40
I.3.1.2. Les déficiences motrices	42
I.3.2. L'accessibilité des interfaces mobiles	42
I.3.2.1. Principes des bases sur les IHM	42
I.3.2.2. L'accessibilité numérique	43
I.3.2.3. Écrans tactiles et handicaps moteurs	43
I.3.3. Synthèse	48
I.4. TECHNOLOGIES DES OBJETS CONNECTÉS	50
I.4.1. Les protocoles de communication	51
I.4.1.1. Courte portée	51
I.4.1.2. Moyenne portée	51
I.4.1.3. Longue portée	52

I.4.2.	Les acteurs de la communication	52
I.4.3.	Synthèse	53
II.	UN DISPOSITIF DE COMMUNICATION ACCESSIBLE HOMME CHIEN	54
II.1.	LE PROJET ANR COCHISE : ANALYSE ET HYPOTHÈSE	55
II.2.	UNE DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE INCRÉMENTALE	58
II.2.1.	Études préliminaires en laboratoire	58
II.2.1.1.	Comment agir sur les différents sens du chien ?	58
II.2.1.2.	Comment mesurer et percevoir l'activité du chien ?	65
II.2.1.3.	Synthèse	72
II.2.2.	Première intégration d'un prototype complet : un harnais	72
II.2.2.1.	Réalisation	73
II.2.2.2.	Tests avec les éducateurs de Handi'Chiens Alençon	74
II.2.2.3.	Méthodologie	75
II.2.3.	Prototype de laboratoire : Collier version 1	76
II.2.3.1.	Prototype hybride : collier/harnais	77
II.2.3.2.	Prototype de collier	79
II.2.3.3.	Interface éducateur	84
II.2.3.4.	Expérimentations et résultats	85
II.2.4.	Collier version 2	87
II.2.4.1.	Fiabilisation	88
II.2.4.2.	Expérimentations chez Handi'Chiens Lyon avec la version 2 . .	92
II.2.5.	Collier version 3 : collier utilisateur	93
II.2.5.1.	Intégration	94
II.2.5.2.	Expérimentation utilisateur	102
II.2.5.3.	Évolution du collier	103
II.2.6.	Conclusion	103
II.3.	UNE INTERFACE MOBILE ACCESSIBLE	105
II.3.1.	Atelier de co-conception : protocole	105
II.3.2.	Analyse des ateliers	108
II.3.2.1.	Le questionnaire	108
II.3.2.2.	Co-conception	109
II.3.3.	Application ANR Cochise	110
II.3.3.1.	Choix technologique	110
II.3.3.2.	L'interface accessible	111
II.3.4.	Synthèse	114
III.	CONCLUSION ET PERSPECTIVE	115
III.1.	CONCLUSION	116
III.2.	PERSPECTIVES	118
III.3.	COMMUNICATIONS SUR LE PROJET ANR COCHISE	120
III.3.1.	Scientifique	120
III.3.2.	Presse	120
III.4.	BIBLIOGRAPHIE	122

IV. ANNEXES	127
A. PROTOTYPES TACTILES ET EXPÉRIMENTATIONS EN LABORATOIRE . . .	128
A.1. Harnais acoustique	128
A.2. Bras mécanique	130
A.3. Harnais massage	130
A.4. Harnais robotique	132
A.5. L'expérience de la caresse	135
B. RELEVÉS DE L'ÉTUDE PRÉLIMINAIRE	136
C. DIMENSIONNEMENT MOTEUR	151
D. ALGORITHME D'ÉCHAPPEMENT DE VALEURS	155
E. RAPPORT EXPÉRIMENTATION HANDI'CHIENS LYON	157
E.1. Matériels et méthodes	157
E.1.1. Matériel	157
E.2. Méthode	161
E.2.1. Préambule à la méthode éducative Handi'Chiens	161
E.2.2. Intégration du collier du projet ANR Cochise	162
E.3. Évaluation	162
E.3.1. Analyse par chien	163
E.3.2. Analyse par ordres	171
F. ATELIER CO-CONCEPTION	173
F.1. Questionnaire	173
F.2. Réponses au questionnaire	177

TABLE DES FIGURES

1. Jouet Bowlingual	21
2. Système d'interaction avec un poulet.	26
3. Robot chien de berger.	27
4. Apes with Apps	28
5. Metazoa Ludens.	29
6. Paw Tracker concept.	30
7. Échantillons de tissu potentiellement cancéreux	36
8. Acceptabilité des systèmes	44
9. Caractéristiques analysées dans les vidéos sur l'utilisation des écrans tactiles	45
10. Exemple de Click and Cross	48
11. Exemple de collier d'éducation à chocs électriques.	57
12. Calipso équipé du harnais vocal	61
13. Zone de caresse du chat	62
14. Zone de caresse du chien	62
15. Ceinture de vibration	63
16. Pâte appétente Stuff'n KONG	64
17. Projet FIDO	64
18. Ribeiro et al. placement des accéléromètres.	66
19. Axes de l'IMU des smartphones	67
20. Système de détection de postures	69
21. Harnais Handi'Chiens	73
22. Cape Handi'Chiens	74
23. Schéma du prototype de harnais avec vibration	75
24. Schéma du prototype de harnais avec sangle	76
25. Schéma des prototypes de harnais	76
26. Equilibrage du harnais sur un golden retriever	77
27. Composant du collier hybride	77
28. Collier hybride sur golden retriever avec son éducateur	78
29. Schéma de connexion du collier	80
30. Excitateur audio	80
31. Schéma de communication du collier de laboratoire	81
32. Prototype de collier	82
33. Interface éducateur	85
34. Intérieur du collier et du boîtier interface	88
35. Collier et boîtier interface Xbee	89
36. Schéma électronique du prototype version 2	91
37. Éducateur donnant des commandes avec le smartphone à la main	93
38. Collier version	94

39. Colliers utilisateurs présentés au CES de Las Vegas	94
40. Moulage des colliers	97
41. Maquettes de conception	107
42. Carte	111
43. Santé	111
44. Entraînement	112
45. Menu	112
46. Paramètres	113
47. Enregistrement	113
48. Configuration	114
49. Harnais acoustique	129
50. Bras mécanique	131
51. Harnais de massage	132
52. Harnais robotique	134
53. Mouvement : marche	137
54. Mouvement : marche rapide	138
55. Mouvement : coucher	139
56. Mouvement : assis	140
57. Mouvement : coucher 2	141
58. Mouvement : assis 2	142
59. Mouvement : entier	143
60. Mouvement : fft marche	144
61. Mouvement : fft marche rapide	145
62. Mouvement : fft coucher	146
63. Mouvement : fft assis	147
64. Mouvement : fft coucher 2	148
65. Mouvement : fft assis 2	149
66. Mouvement : fft entier	150

LISTE DES TABLEAUX

1. Les recherches en IAM pour les chiens de travail	32
2. Exemple de classifications de handicap	41
3. Options d'accessibilité d'Android 5.0	49
4. Stimuli par sens	59
5. Données sélectionnées	68
6. Fréquences et amplitudes moyennes de la course	68
7. Résultats de la méthode de détection de l'activité	70
8. Systèmes commerciaux canins	71
9. Différences entre les versions 1 et 2	92
10. Dimensions versions 2 et 3	97
12. Protocole communication LORA	102
13. Différences entre les versions 1, 2 et 3	103
14. Déroulement de l'atelier de co-conception	106
15. Classement des interactions	108
16. Parcours d'un chien	158
17. Descriptions des chiens	160
18. Promotion 1 : Image	164
19. Promotion 1 : Hayko	164
20. Promotion 1 : Heros	165
21. Promotion 1 : Islande	165
22. Promotion 1 : Inuit	166
23. Promotion 1 : Izar	166
24. Promotion 2 : Isacc	167
25. Promotion 2 : Item	167
26. Promotion 2 : Ilou	168
27. Promotion 2 : Icar	168
28. Promotion 2 : Izmir	169
29. Promotion 2 : Iloo	169
30. Promotion 2 : Iuko	170
31. Promotion 2 : Izar	170
32. Analyse par ordre (R=Répondeur, RP=Répondeur Partiel, NR=Non Répondeur)	172

ALGORITHMES

II.2.1. Programme sur le collier	83
D.1. Encodage d'une trame	155

INTRODUCTION

L'association Handi'Chiens a pour objectif d'éduquer et de remettre gratuitement des chiens d'assistance à des personnes atteintes d'un handicap moteur. Grâce aux nombreux services qu'ils procurent, ces chiens apportent aux personnes handicapées motrices une aide technique au quotidien. Ils sont dressés par l'association pendant deux ans pour obéir à plus de 50 commandes. En plus des actions qu'ils peuvent faire, les chiens offrent un soutien moral et affectif et constituent un formidable lien avec ceux qui les entourent. Ils favorisent ainsi l'insertion sociale des personnes handicapées. Depuis sa création voici 25 ans, Handi'Chiens a remis gratuitement plus de 1 800 chiens d'assistance à des personnes, enfants ou adultes, privées de mobilité. Handi'Chiens éduque également des chiens d'assistance dits « chiens d'éveil » destinés à des enfants souffrant de troubles autistiques, de trisomies, ou polyhandicapés et des chiens d'assistance dits « chiens d'accompagnement social » qui seront confiés à des référents dans des établissements accueillant des personnes âgées dépendantes, souffrant de la maladie d'Alzheimer ou des adultes handicapés.

La formation d'un chien d'assistance est longue. La première étape est la sélection des chiots. Les éducateurs choisissent des chiots, de race labrador ou de race golden retriever, chez des éleveurs. Ils sont âgés de 7 semaines et systématiquement inscrits au LOF (Livre des Origines Français). Des tests de comportement sont effectués afin d'écarter les chiens trop craintifs, trop indépendants ou susceptibles de répondre difficilement aux commandes. Un exemple de test est de voir s'il est facile de capter le regard, l'attention du chiot, ce qui est un point clé dans la suite de l'éducation. La seconde étape est la socialisation du chien qui se fait chez des familles d'accueil. Le chien y reste jusqu'à ses 18 mois. Pendant cette période, la famille d'accueil le familiarise avec la plus grande diversité possible de situations. Elle lui enseigne également les 30 premières commandes élémentaires d'obéissance. À 18 mois, il intègre un des quatre centres de Handi'Chiens pour une période de 6 mois à l'issue de laquelle, les chiens sont capables de travailler avec différentes personnes et dans différents lieux sans se laisser perturber par l'environnement, mais sans rien perdre de leur personnalité de chien. Ils connaissent alors 50 commandes. La dernière étape est le stage d'adaptation et de transmission où le chien rencontrera son futur maître porteur d'un handicap. Chaque participant teste huit chiens pendant trois jours, avant d'en sélectionner trois. C'est en général le quatrième jour que l'équipe d'éducateurs fait le choix final de l'affectation d'un chien à son maître. Ils basent leurs décisions sur des observations faites pendant ces 3 jours à partir du profil, des besoins et des conditions de vie de la personne qui recevra le chien. Pendant toute la durée du stage, les personnes suivent des cours théoriques et pratiques. Ils apprennent ce qu'est un chien, comprennent ses besoins physiologiques, comment en prendre soin et comment il « fonctionne ». À l'issue de ces deux semaines, la personne sera soumise à une dernière épreuve, un examen

de validation de ses acquis. Cet examen confirme que la personne est capable de faire travailler son chien et de le maîtriser en toutes circonstances, ceci pour sa sécurité, comme pour celle de l'animal. Une des règles enseignées par Handi'Chiens est qu'un chien à besoin de se détendre et de se défouler. Le bénéficiaire doit donc laisser son chien en liberté pendant une heure par jour au minimum. Malgré cette formation, certaines personnes, ayant parfois des problèmes d'élocutions ou de puissance vocale, se sentent très rapidement dépendantes de leur chien et ont peur de perdre leurs chiens si elles le lâchent en liberté. Il devient alors tentant de les laisser en permanence attachés à leurs fauteuils ou dans des espaces clos, ceci n'est pas souhaitable pour le chien.

Dans ce contexte, Handi'Chiens a posé la problématique applicative suivante : "Comment améliorer la situation du chien, grâce à la technologie actuelle, en augmentant les capacités de communication entre un chien d'assistance et son maître en situation de handicap ?" Afin de répondre à cette problématique, le projet de recherche ANR Cochise a été défini. Son objectif est, à partir de ce constat initial, de répondre aux questions scientifiques et techniques que soulève cette problématique.

Les questions retenues par le projet ANR Cochise sont :

- Quel système électronique peut aider une personne porteuse d'un handicap à communiquer avec son chien à distance ?
- Quels sont les sens du chien que le dispositif peut utiliser pour fonctionner ?
- Les chiens accepteront-ils de collaborer avec un système électronique ?
- Quelle technologie peut-on utiliser pour développer de tels systèmes ?

À ces questions de base, essentiellement tournées vers le chien, il convient d'ajouter celles qui s'intéressent à son maître :

- Est-il possible de concevoir une interface générique avec le système qui soit adaptable aux différents types de handicaps ?
- Quelles fonctionnalités et quelles modalités cette interface doit-elle fournir pour être utile et utilisable ?
- Le système sera-t-il accepté par le couple maître / chien ?

Alors qu'une importante communauté scientifique existe sur l'étude des Interfaces Humain-Machine (IHM) et leurs usages, peu de recherches existaient, au démarrage du projet ANR Cochise, sur l'interaction entre la technologie et le monde animalier. Ce projet a débuté en même temps qu'une communauté scientifique se structurait autour de l'Interaction Animal-Machine (IAM) [Mancini, 2011]. Comme nous le montrerons dans le chapitre 1, les études existantes étaient limitées et difficilement applicables à notre problématique. En effet, dans le projet ANR Cochise, le besoin technologique est d'améliorer le lien entre l'homme et l'animal. Plus précisément, ce lien doit permettre à un maître en situation de handicap de communiquer à distance et en extérieur avec son chien d'assistance. Il faut donc s'intéresser aux deux extrémités de ce lien : l'homme et l'animal. Le travail de recherche présenté dans ce document se positionne donc à l'intersection de sur plusieurs thématiques scientifiques et techniques : l'IAM, les IHM, les systèmes communicants et la robotique.

Ce mémoire présente les développements effectués pour participer à la résolution de ce problème. Il est divisé en deux grandes parties.

La première partie est composée de quatre sections et expose les connaissances qui seront utilisées dans la deuxième partie qui décrit les développements effectués. La section 1 est une présentation du chien et des connaissances qu'il faut posséder sur l'animal afin de pouvoir fabriquer un dispositif qui lui est destiné. On y présente en particulier les différentes catégories de chiens et leurs usages en relation avec l'homme. Leurs diversités et leurs différences de sensibilité y sont expliquées. La deuxième section se focalise sur le domaine de l'IAM. Elle présente les travaux disponibles sur des dispositifs de communication avec les animaux et les contraintes qui s'y rattachent. En raison de la nouveauté de cette discipline, on remarquera que peu de travaux sont directement transposables pour le projet ANR Cochise. La section 3 présente deux domaines plus riches et mieux documentés : d'une part le handicap et ses particularités et d'autre part les interfaces accessibles issues des recherches en IHM. Enfin, la section 4 fait une revue rapide des technologies existantes dans le domaine des objets connectés et, en particulier, ceux dédiés aux animaux.

La deuxième partie du mémoire est une présentation qui retrace la démarche incrémentale adoptée pour découper la problématique du projet ANR Cochise en une série de problèmes auxquels nous avons apporté des réponses par des développements expérimentaux accompagnés d'expérimentations sur des animaux. Ainsi, on verra, dans la première section, comment on a d'abord testé avec succès l'obéissance d'un chien à une voix enregistrée, en laboratoire puis en extérieur. Ensuite, par analyse des signaux des capteurs embarqués sur le chien, nous avons pu mesurer son activité et sa localisation. Enfin, une série d'études a porté sur la récompense donnée au chien lorsqu'il effectue bien son travail. En particulier, plusieurs dispositifs de caresses ont été testés avec des résultats mitigés. Une deuxième section de ce chapitre présentera la conception de l'interface utilisateur qui est basée sur une approche de conception centrée sur l'utilisateur (« user centered design » en anglais). Nous avons choisi une méthode de conception participative en mettant en place des ateliers de focus groups auprès des bénéficiaires de Handi'Chiens. Ceci a permis de dégager un type d'interface qui a pu être testé aussi bien auprès des éducateurs que des utilisateurs finaux. La méthode centrée utilisateur, utilisée pour la conception de l'interface mobile, a révélé que les interactions simples comme le toucher ou le glisser sont à privilégier, cependant chaque handicap étant particulier, l'interface doit pouvoir être manipulée suivant plusieurs modes.

Le mémoire se termine par une dernière partie avec des conclusions et des perspectives sur ce travail suivi de la bibliographie et des annexes techniques. L'une d'entre elles présente les études sur la caresse qui n'ont pas donné de résultats probants.

Première partie

ÉTAT DE L'ART

I.1

L'ÉTUDE DES CHIENS

La connaissance du chien d'assistance et plus généralement du chien et de sa domestication est un prérequis à nos travaux. Nous commencerons donc cet état de l'art par un historique de la domestication du chien afin de répondre aux questions suivantes : Comment le chien est-il devenu "le meilleur ami de l'homme" ? Pourquoi le retrouve-t-on dans de nombreux métiers ?

La seconde partie de cet état de l'art présentera les caractéristiques spécifiques du chien. Elle détaillera les différents sens du chien et ses différents modes de communication.

La troisième partie a pour but de présenter quelles sont ces règles qui régissent l'expérimentation animale et pourquoi sont-elles là.

I.1.1 L'HOMME ET LE CHIEN

I.1.1.1 *Les origines incertaines du chien*

Darwin pensait que le chien avait plusieurs ancêtres : le loup, le chacal et le renard. [Vilà et al., 1997] explique que le chien viendrait du loup, mais qu'au cours des millénaires de nombreux croisements se sont effectués avec le loup sauvage ce qui rend la définition de l'origine du chien difficile. Les recherches sur les origines du chien sont toujours en cours et font toujours débat. Une récente étude [Savolainen et al., 2002] sur l'ADN de plusieurs chiens indiquerait que le chien a divergé du loup il y a un peu plus de 15000 ans en Asie orientale, contrairement à la croyance générale, comme quoi il viendrait d'Europe. Cependant, d'autres études tentent de prouver que le chien aurait un ancêtre commun avec le loup gris et aurait divergé il y a 100000 ans [Vilà et al., 1997]. D'autres scientifiques comme Raymond Coppinger réfutent ces analyses génétiques en mettant en cause leur fiabilité [Postel-Vinay, 2004]. Pourquoi est-il aussi difficile de déterminer les origines du chien ? Dans le règne animal le chien est très particulier. Aucune autre espèce à une telle variabilité de morphologie ou de comportement. Un chihuahua de 15 cm au garrot et un dogue allemand de 86 cm, des chiens sans poils, d'autres avec des poils très longs ou même des chiens qui n'aboient pas. La sélection faite par l'homme en est certainement une raison, mais cela n'explique pas tout. L'autre particularité spécifique du chien, c'est qu'il est capable de

s'accoupler avec ses cousins canidés, les loups, mais aussi le chacal d'Afrique ou le coyote. Leurs progénitures sont fertiles ce qui remet en cause la définition d'espèce.

Malgré cette difficulté plusieurs théories convergent quant au déroulement de la domestication. Ce fut la toute première domestication, avant la sédentarisation des humains qui entraîna la domestication des autres espèces. L'ancêtre du chien domestique, qu'on appelle proto-chien, et les chasseurs-cueilleurs nomades évoluaient dans le même environnement et avaient les mêmes proies. Cet ancêtre se serait rapproché lui-même des camps des hommes afin de manger les restes. En échange les proto-chiens avertissaient les hommes de l'approche d'ennemis potentiels, prédateurs ou autres groupes d'hommes. Ce comportement se retrouve actuellement chez les chiens parias d'Inde. Les chiens parias sont des chiens non domestiqués. Ils servent d'éboueurs dans les petits villages, ils n'appartiennent à personne. Cependant, ils semblent avoir un attachement aux habitants du village et les alerteraient si des étrangers approchent du village.

Les proto-chiens vivaient aux côtés des chasseurs cueilleurs, mais ce n'était pas encore à proprement parler de la domestication. Ce n'est qu'au fil du temps que les chasseurs-cueilleurs ont adopté des chiots et les ont élevés afin qu'ils leur rendent d'autres services.

I.1.1.2 *Les services rendus par les chiens*

Au fil des millénaires les chiens ont rendu plusieurs services aux hommes. Au néolithique, ils aidaient à la chasse, mais servaient très certainement aussi de réserve de nourriture et étaient consommés. Avec la domestication du bétail et la création des troupeaux, les chiens ont servi de garde de troupeaux, ils éloignaient les prédateurs, mais ils étaient attachés de peur qu'ils attaquent eux-mêmes le bétail. Ce n'est qu'aux XVIII siècles que les bergers ont formé des chiens libres capables de diriger un troupeau.

Selon l'époque et selon les régions l'utilisation du chien était différente et a évolué au cours du temps.

Dans des manuscrits chinois [Dechambre, 1971] datant de 3468 av. J.-C., le chien était décrit comme un des 6 animaux domestiques parmi le cheval, le bœuf, la poule, le cochon et le mouton. Il servait à la fois pour la chasse et la boucherie. Les Européens trouvent choquant qu'une partie de la Chine consomme encore du chien. Il faut savoir que le chien en Asie avait le même rôle que le cochon. Il mangeait les détritiques et était mangé. Christophe Colomb lorsqu'il arriva au Mexique décrit des troupeaux de chiens qui étaient également utilisés pour la boucherie et pour les sacrifices.

En Égypte ancienne, les chiens tenaient une place importante. Outre le grand nombre de chiens parias éboueurs, les chiens gardiens de troupeau et les chiens de chasse étaient courants. Les chiens étaient aussi utilisés à la guerre. Une particularité cependant, les Égyptiens avaient également des chiens de maison qu'ils choyaient, peignaient ou décoraient de bijoux. C'était trois races de chiens différentes. Des lévriers fins et rapides pour la chasse, des dogues imposants de la taille des mastiffs d'au-

aujourd'hui pour la garde ou la guerre et des petits chiens ancêtres des teckels pour les chiens de maison.

D'autres services peuvent être évoqués dans l'histoire :

- Dans les îles, les chiens furent également utilisés pour la pêche en rabattant les bancs de poissons dans les filets.
- Des chiens soigneurs qui léchaient les plaies des malades.
- Des chiens de trait dans les pays nordiques, qui sont toujours utilisés de nos jours.

Au cours du siècle dernier, avec l'évolution de la société, les chiens furent entraînés pour rendre de nombreux autres services :

- chien policier
- chien anti-drogue
- chien de détection (drogue, explosif, personne)
- chien d'avalanche

Ce n'est que plus récemment que des chiens d'assistance furent entraînés. Les premiers et les plus connus sont les chiens guides d'aveugles. Après la Première Guerre mondiale, de nombreux soldats revenaient aveugles. Des chiens furent entraînés pour les assister. Ensuite le chien a été entraîné afin d'aider les personnes souffrant d'autres handicaps notamment moteurs. Un peu plus tard grâce à sa capacité socialisante il fut entraîné afin d'aider les enfants autistes.

Cette diversification des services rendus s'explique certainement par la grande diversité des aptitudes du chien que l'homme a développées, ce qui donna les différentes races de chiens que nous connaissons aujourd'hui.

I.1.1.3 *Les différentes races de chiens*

Au fil des siècles, l'homme a créé de nombreuses races de chien par sélection artificielle. La Fédération Cynologique Internationale reconnaît aujourd'hui 341 races de chiens. Ces races furent créées en assurant la reproduction des chiens ayant des traits particuliers. Il est cependant difficile de déterminer une généalogie des races. [Dechambre, 1971] prend pour exemple les races de type basset. Le type basset est défini par des membres courts et un corps allongé. On pourrait penser qu'ils viennent tous du même ancêtre or chaque basset a un cousin de chien courant qui lui ressemble et provenant de la même zone géographique. Il est plus probable que la mutation créant des types basset, appelée l'achondroplasie, s'est reproduite chez plusieurs chiens et qu'elle fut "cultivée" par l'homme. Pour la même raison, il est difficile de donner une origine datée à une race, car telle ou telle mutation a pu se répéter au cours des siècles.

[Dechambre, 1971] propose l'explication suivante à la grande variété des races de chiens. La domestication par l'homme a enlevé une partie des contraintes naturelles ou environnementales sur le chien, ce qui a permis sa variabilité d'exploser. Lorsqu'une mutation apparaît, ce n'est plus la sélection naturelle qui dit si elle est viable, mais c'est l'homme qui applique une sélection artificielle et assure la pérennité de tel ou tel trait canin. L'exemple extrême de ces dernières années est l'attrait particulier pour

les chiens brachycéphales (à face plate) comme les différentes races de bouledogues. La culture de ce trait a amené à créer des chiens comportant de graves problèmes de santé notamment respiratoire et qui auraient certainement peu de chance de survie dans la nature. D'ailleurs, 80% des naissances de ces chiens se font par césarienne, ce qui est dû à leur grand risque de complication lors de la naissance.

Les noms des races de chiens anglais donnent cependant une idée de quel trait a été cultivé afin de créer telle ou telle race. Toutes les races en "hound" sont des races de chasse à court et le préfixe indique généralement le gibier visé, Deerhound, Foxhound, Bloodhound. Les races finissant en -er sont plus des chiens d'arrêt, Setter, Retriever.

Ce sont ces spécificités physiques, mais aussi sociales qui ont rendu le chien attrayant pour l'homme.

I.1.2 LES SPÉCIFICITÉS DU CHIEN

I.1.2.1 *Les différents sens du chien*

Tout comme l'homme, le chien possède 5 sens : la vue, l'ouïe, l'odorat, le toucher et le goût. Cependant, la sensibilité de chacun de ses sens est bien différente avec ceux de l'homme.

- **Odorat** Le sens le plus sensible chez le chien est l'odorat. Il est 10 à 100 fois plus sensible que celui de l'homme. En effet, ses cavités nasales sont bien plus grandes et riches en capteurs. Il a un seuil de sensibilité aux odeurs bien plus bas et une capacité de distinction des différentes substances au sein d'une même odeur.
- **Ouïe** Le chien a également une gamme de fréquences audibles bien plus élevée, entre 20Hz à 60000 Hz contre 20Hz à 20000Hz chez l'homme. De plus, son oreille externe est mobile ce qui lui permet de localiser la provenance du son. Cette particularité, nous le verrons par la suite, a été un point de questionnement dans nos travaux.
- **Vue** La vue est aussi bien différente chez le chien. Son champ visuel est de 250 à 280 degrés selon les races contre 180 degrés chez l'homme. Cependant, sa zone de perspective est inférieure à celle de l'homme. Il voit également mieux la nuit, mais distingue moins de couleurs.
- **Toucher** Le toucher est un sens complexe, car il regroupe : la température, la pression, le frottement, les vibrations. Deux zones sont particulièrement sensibles (nombreuses terminaisons nerveuses) chez le chien : les membres et la gueule. La gueule a le rôle de préhension, équivalent de la main chez l'homme.
- **Goût** Le dernier sens, le moins sensible est le goût. Il s'avère que ce sens est très peu développé chez le chien. Un chien a 1600 bourgeons gustatifs contre 9000 chez l'homme. C'est pour cela qu'un chien ne se lasse jamais de manger la même chose. Si un chien refuse un aliment, ce n'est pas pour son goût, mais pour son odeur. C'est aussi pour cela que la nourriture des chiens vendue en commerce est si odorante.

I.1.2.2 *La communication du chien*

Chaque sens a un rôle particulier dans la communication. La communication chez le chien est différente de celle de l'homme, mais très riche et tout aussi complexe. La principale différence est que le chien n'a pas de langage/communication verbale connu à ce jour. Cependant, la majorité de la communication non verbale chez l'homme est traitée inconsciemment par le cerveau contrairement au langage. De plus, la communication, aussi bien chez l'homme que chez le chien, met généralement en œuvre plusieurs sens, voire l'ensemble des sens.

COMMUNICATION OLFACTIVE L'odorat est le sens le plus développé chez le chien. Il s'en sert comme vecteur de communication : de manière active comme le marquage urinaire, le marquage fécal, le grattage du sol ou la vidange des glandes anales lors de stress, mais aussi de manière passive comme les dépôts par les glandes podales lors de la marche ou le dépôt de l'odeur globale sur son lieu de repos. Chez l'homme la communication olfactive est aussi présente avec les phéromones, mais cette communication est inconsciente. L'utilisation des odeurs et des phéromones permet au chien de communiquer sur son appartenance à un groupe, son stade physiologique (âge, sexe, maturité et réceptivité sexuelle), son statut social (position hiérarchique), son état émotionnel, sa localisation spatiale. Elle permet la communication intraspécifique et interspécifique, notamment avec l'homme. Cependant l'homme n'est pas sensible aux phéromones canines alors que le chien est réceptif aux phéromones humaines, ce qui lui permet de reconnaître qu'une femme est enceinte.

COMMUNICATION SONORE La communication sonore permet au chien de se localiser par rapport à ses congénères et d'alerter. L'utilisation des vocalises chez le chien lui permet de communiquer avec d'autres chiens, mais également avec l'homme. Les chiens domestiques présentent un répertoire vocal étendu par rapport aux canidés sauvages. Les sons émis chez le chien sont extrêmement variables selon la race, les Basenji n'aboient jamais alors que le Caniche est une race aboyeuse. L'utilisation du canal sonore est privilégiée par l'homme dans la communication. Le chien s'adapte et apprend à comprendre, dans une certaine mesure, le langage l'homme. Le chien ne comprend pas le sens des mots, mais met en relation la sonorité avec l'intention qu'il détecte chez le maître, il scrute tous ses gestes (macro ou micro-signaux). Le chien en contrepartie utilise les vocalises pour communiquer avec son maître : gémissement, aboiement voir grognement. Le chien apprend à renforcer ses vocalises en présence de son maître. Cependant, comme le souligne [Mauriès, 2015] : "Un anthropomorphisme débridé différencie certains sons en fonction d'une interprétation sujette à caution. Bref, n'attribuons pas à chaque son une signification précise !"

COMMUNICATION VISUELLE La communication visuelle est souvent complétée par d'autres signaux, olfactifs et sonores par exemple. Elle se fonde sur des mouvements expressifs, des caractéristiques morphologiques, des marques visuelles. Les marques visuelles peuvent être le grattage au sol ou le marquage urinaire (visuel et

olfactif). Les mouvements expressifs mettent en œuvre l'ensemble du corps : le regard, les oreilles plus ou moins dressées, les dents découvertes ou non, les lèvres rétractées, la position du corps par rapport aux congénères, la position de la queue peut donner aussi de nombreuses informations. Plus la queue est dressée, plus elle signifie la dominance, plus elle est basse, plus elle signifie la soumission ou la peur, si elle remue c'est que l'animal est excité ou content.

COMMUNICATION HAPTIQUE Le toucher est aussi important. Il peut avoir un rôle hiérarchique. Un chien qui monte sur un autre chien est un signe de dominance et non nécessairement d'un attrait sexuel. Il a un rôle prépondérant dans le lien entre une mère et son chiot (tout comme chez l'homme). Il permet l'échange d'odeur et a un effet anxiolytique. Si le chien a peur, il va chercher la proximité de son maître, voire des caresses. Cependant, tous les chiens n'ont pas le même rapport au toucher et aux caresses. Certains chiens ne les apprécient pas même s'ils sont très liés à leur maître. Comme nous le verrons dans nos expérimentations, cela a bien été confirmé.

COMMUNICATION PAR LE GOÛT Le goût en lui-même n'a pas de réel rôle dans la communication. Cependant dans la communication homme - chien la nourriture est un élément important de la relation maître/chien. L'heure et le lieu des repas peuvent avoir un fort impact sur le rapport de dominance entre le maître et le chien. De plus, la nourriture est un vecteur fort comme récompense notamment lors de l'éducation des chiens. Le goût et la nourriture permettent de renforcer les liens entre le maître et le chien. Dans l'éducation Handi'Chiens, seul le maître a le droit de donner la nourriture, même si celui-ci est invalide. Si la personne est invalide au niveau des membres supérieurs et ne peut pas manipuler les croquettes ou la gamelle du chien, une tierce personne l'aide. Cependant cette personne ne le fait pas directement : pour la récompense, la tierce personne dépose les croquettes dans la main du maître et le chien mange dans la main invalide du maître, pour les repas, la tierce personne dépose la gamelle à terre, mais c'est le maître qui autorise vocalement le chien à manger.

L'ABOIEMENT L'aboiement est un comportement qui vient de la sélection faite par l'homme. En effet les loups n'aboient que très rarement. Ce comportement est très utile pour les chiens de garde pour alerter ou pour faire peur aux prédateurs. Il est aussi utilisé par les chiens de chasse. Cependant dans notre société l'aboiement est souvent perçu comme nuisible chez les chiens domestiques qui n'ont plus ce rôle de gardien. Les chiens aboient pour plusieurs raisons et pas uniquement lorsque des étrangers s'approchent de leur territoire. Pouvoir traduire les aboiements des chiens est quelque chose qui fait rêver comme a pu le montrer l'engouement pour le produit commercial Bowlingual Figure 1 sortie en 2009. Il est supposé effectuer une traduction des aboiements. Or ce n'est qu'un jouet, comme le stipule clairement la notice. Les réponses données sont aléatoires.

Cependant le thème de l'aboiement fait l'objet de recherches depuis plusieurs années. [Yin et al., 2004] ont fait une analyse sonore des aboiements de plusieurs chiens dans trois contextes :



FIGURE 1. – Jouet Bowlingual

- l'isolement : le chien aboie lorsqu'il est isolé dans une salle
- la perturbation : le chien aboie lorsqu'un étranger sonne à la porte
- le jeu : le chien aboie durant une séance de jeux

Les aboiements des chiens peuvent être classés comme des vocalisations allant du rauque avec des basses fréquences, à mélodieux avec de hautes fréquences. Les aboiements de perturbation sont rauques et graves avec peu d'amplitude et de modulation dans la hauteur du son. Au contraire pour le contexte de jeu et d'isolation, la vocalisation est plus mélodieuse et plus aiguë. La hauteur et l'amplitude varient également plus. L'intervalle entre les aboiements de la perturbation et ceux du jeu sont plutôt courts, alors que pour la situation d'isolement les intervalles sont plus longs. Malgré ces quelques critères, il est difficile de classer les différents types d'aboiements. Cependant [Miklosi, 2008] présente des expérimentations confirmant que les aboiements sont utilisés dans la communication chien/chien par exemple pour le contrôle de territoire ou l'incitation au jeu d'un congénère. Les aboiements sont également utilisés dans la communication homme/chien. Une expérience a montré que des personnes adultes, côtoyant des chiens ou non, sont capables de classer des enregistrements d'aboiements selon leurs contextes. Il est cependant difficile d'identifier un chien uniquement par ses aboiements. [Gaunet, 2011] explique que malgré ces caractéristiques communes chaque chien a sa façon de réagir à un contexte particulier et de s'exprimer : chaque chien a sa propre voix.

Il faut retenir qu'il n'y a pas qu'un type d'aboiement, mais que pour le chien c'est un moyen de communication à part entière.

I.1.3 L'EXPÉRIMENTATION ANIMALE

Pour la plupart des personnes, l'expérimentation animale fait penser aux animaux de laboratoire sur lesquels sont testés des médicaments ou des produits cosmétiques.

C'est effectivement comme cela que l'expérimentation animale a commencé. Cette section commencera par un historique de l'expérimentation animale et ensuite présentera les objectifs actuels et légaux de l'expérimentation animale.

I.1.3.1 *Rétrospective*

Claude Galien, un médecin de la Grèce antique, a été un des premiers à pratiquer l'expérimentation animale afin de mieux comprendre les maladies et pouvoir les soigner.

Beaucoup plus tard à partir du XVII^e siècle, l'expérimentation animale est pratiquée afin de mieux comprendre la nature et sortir des croyances mystiques et des miracles. Plus particulièrement plusieurs expériences ont été menées afin de réfuter la théorie de la génération spontanée : certains animaux ou insectes comme les mouches ou les souris apparaissent spontanément dans la viande ou dans une pile d'habits. Georges Cuvier est un savant connu pour son étude de l'anatomie des espèces notamment par la dissection. Il a permis de classer les différentes espèces animales entre : les articulés, les vertébrés, les mollusques et les radiaires. À cette époque les scientifiques se refusaient à croire que les animaux ressentent la douleur. Cependant certains scientifiques s'indignaient déjà de ces pratiques comme Jean Henri Fabre qui a écrit dans ses "Souvenirs entomologiques" : "Vous éventrez la bête et moi je l'étudie vivante, vous travaillez dans un laboratoire de torture et de dissection, j'observe sous le ciel bleu, vous scrutez la mort, j'observe la vie". Claude Bernard un des fondateurs de la médecine expérimentale, expérimente sur les animaux, mais sous anesthésiant. À partir du XX^e siècle, un changement éthique s'effectue et le bien-être animal devient une priorité. En 1959 est mise en place la règle des 3R : Réduire, Raffiner, Remplacer.

- Réduire. Réduire au maximum le nombre d'animaux utilisés, mais tout en gardant la rigueur scientifique nécessaire.
- Raffiner. Minimiser les facteurs de souffrance, de stress, voire même de détresse.
- Remplacer. Remplacer l'utilisation des animaux par d'autres moyens. Comme nous le verrons dans le chapitre sur l'Interaction Animal-Machine Chapitre I.2, cette règle est difficile à prendre en compte, mais cela correspond aussi à bien choisir les animaux avec lesquels travailler, par exemple choisir des individus qui seraient moins sensibles au stress que d'autres. Dans notre cas, les chiens ont été choisis attentivement par les éducateurs de Handi'Chiens.

I.1.3.2 *Les objectifs*

La réglementation (décret 2001-464¹ ; décret 2001-486²) précise les buts pour lesquels les expériences pratiquées sur les animaux vivants sont considérées comme licites :

1. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000579018>

2. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000590644>

- le diagnostic, la prévention et le traitement des maladies ou d'autres anomalies ou de leurs effets, chez l'homme, les animaux vertébrés ou invertébrés ou les plantes y compris les essais d'activité, d'efficacité et de toxicité des médicaments et d'autres substances biologiques et chimiques et de leurs compositions
- la détection, l'évaluation et le contrôle ou les modifications des conditions physiologiques chez l'homme, les animaux et les plantes
- le contrôle de la qualité des denrées alimentaires
- la recherche fondamentale et appliquée
- l'enseignement et la formation
- la protection de l'environnement
- les enquêtes médico-légales.

I.1.4 SYNTHÈSE

Nous avons, dans ce chapitre, examiné différentes caractéristiques des chiens ainsi que leurs modes de communication qui pourront être utiles pour la construction de dispositifs électroniques communicants. Par ailleurs, les expérimentations qui vont accompagner l'étude de ces dispositifs devront s'inscrire dans le périmètre légal.

I.2

LA RECHERCHE EN INTERACTION ANIMAL-MACHINE

L'interaction Animal-Machine (IAM) est l'étude des interactions que peut avoir le monde animalier avec la technologie omniprésente. Cette interaction est déjà présente par exemple entre le bétail et les systèmes automatisés, ou les animaux de compagnie et nos objets du quotidien. Des chercheurs issus du domaine de l'Interaction Humain-Machine (IHM) ont commencé à s'intéresser à ces interactions pour diverses raisons expliquées dans la section I.2.1.

L'IAM, par son objet d'étude, nécessite des expérimentations sur des animaux. [Vääätäjä et al., 2013] soulèvent des questions éthiques quant à l'expérimentation sur des animaux en IAM et proposent un ensemble de directives à suivre lors de la préparation et de la réalisation de ces expérimentations. Le premier point rappelé est l'importance de la règle des 3 R : Réduire, Raffiner, Remplacer. Ils proposent ensuite un ensemble de directives à suivre afin de respecter ces règles et avoir une démarche éthique lors d'expérimentations avec des animaux. En effet, l'homme et l'animal n'ont pas de langage commun. Les animaux ne peuvent consentir à participer à une expérimentation ou la possibilité de stopper celle-ci en cours en cas de souffrance physique ou morale. Une pratique qui elle est indispensable lors d'expérimentations avec des personnes. Il faut donc trouver d'autres moyens afin de respecter ces trois règles. Rappelons qu'en France le statut des animaux a récemment changé [Glavany et al., 2014] et qu'ils ne sont plus considérés comme des biens "meubles", mais comme des êtres sensibles. Ce changement fait suite à la signature par 24 intellectuels d'un manifeste de l'association 30 Millions d'amis [30 Millions d'amis, 2013].

Le titre de l'article [Vääätäjä et al., 2013] est aussi intéressant : en français "Questions d'éthiques et directives lors de la réalisation d'études en Interaction *Homme*-Machine avec des *animaux*". Le titre soulève deux points :

- La suite de cet état de l'art montrera que de nombreuses recherches en IAM incluent un ou des participants humains. Les interactions étudiées sont complexes et se font souvent autour de l'homme, de l'animal et de la machine.
- Le second point est le fait que les recherches en IAM ont commencé en grande partie avec des chercheurs issus du domaine des IHM et que le terme d'IAM n'est apparu que très récemment. Une question qui fut posée lors d'une conférence d'IHM incluant des sections d'IAM, "Est-ce que l'IAM est une sous branche de l'IHM ou au contraire l'IHM est-elle un sous-ensemble de l'IAM?", mais c'est le sous-ensemble des IHM qui a toujours été le plus étudié. Cette réflexion est basée sur le fait suivant : l'homme est un mammifère et fait partie des animaux, mais

un animal n'est pas forcément un homme. Ce débat s'est clos sans consensus de la part des participants.

I.2.1 L'ÉMERGENCE DE L'IAM

L'IAM est un domaine très récent. "Animal-Computer Interaction : À Manifesto" [Mancini, 2011] est un article fondateur du domaine. Il comporte plusieurs points très intéressants. Le premier point soulevé est le fait que les animaux interagissent avec des machines depuis de nombreuses années. La boîte de Skinner créée en 1930 a pour but d'étudier le comportement et la capacité d'apprentissage de rats et de pigeons face à un ensemble de stimuli. Avec l'avancement de la technologie, d'autres interactions sont apparues comme l'utilisation de systèmes de localisation afin d'étudier ou protéger des espèces sauvages comme les éléphants ou les léopards des neiges. Les outils technologiques pour les animaux sont développés par des industriels ou pour des chercheurs du domaine des sciences animales. Malgré cet historique l'interaction en elle-même n'a été que très peu étudiée par les chercheurs du domaine de l'informatique. La conception de ces outils reste centrée utilisateur humain et ne prend parfois pas assez en compte le côté animal. Mancini montre deux exemples où cela fut problématique. L'utilisation de systèmes de localisation sur des phoques par des chercheurs océanographiques. Ces dispositifs ont changé leurs comportements et perturbé les données relevées [Hazekamp et al., 2009]. L'utilisation de machines de traite automatique de vache amène à l'abatage des vaches ne pouvant pas utiliser ces systèmes [De Jong et al., 2003]. Ces exemples montrent le besoin d'étudier le développement de ces technologies du point de vue de l'utilisateur animal. L'étude de l'IAM, que certains chercheurs souhaitent étendre vers l'interaction multi-espèce/machine, est apparue dans le domaine de l'Interaction Homme Machine (IHM). Cependant ce n'est que très récemment que le domaine de l'IAM a fait son apparition en tant que domaine à part entière. L'apparition de ce domaine n'est pas un hasard. En effet, toutes sortes de capteurs de plus en plus petits et robustes apparaissent. Ceci rend accessible le développement de nouvelles interfaces, non limitées aux systèmes souris clavier. De plus les changements économiques, environnementaux et culturels rendent ce domaine plus attrayant. En effet, les objectifs de l'IAM sont :

- Mieux comprendre les animaux, leur comportements intra-espèce et inter-espèce, l'homme étant une espèce particulière.
- Améliorer la qualité de vie des animaux.
- Développer des systèmes permettant une meilleure communication entre animal et humain.

De plus, Mancini explique le bénéfice que l'IAM peut apporter à l'IHM. Ce changement de perspective nécessaire à l'IAM peut amener de nouvelles méthodes qui pourront être réintégrées ensuite à l'IHM.

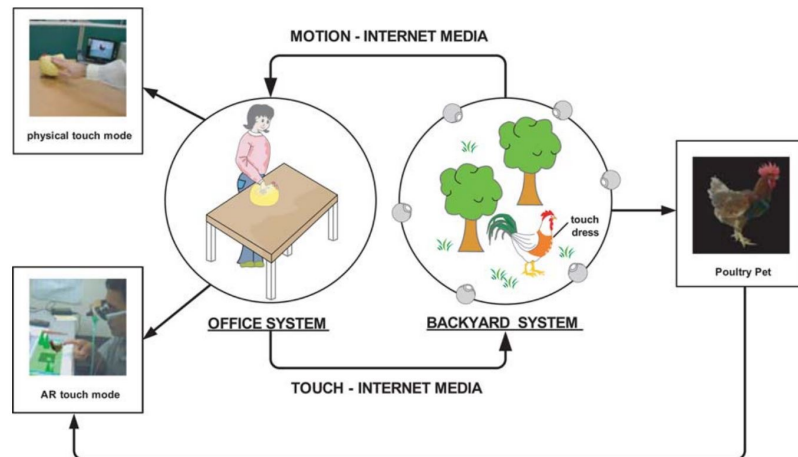


FIGURE 2. – Système d'interaction avec un poulet.

I.2.2 LES CIBLES DE L'IAM

La première partie de la thèse de master de Jaana Lethonen [Lehtonen, 2013] est un état de l'art de l'IAM et illustre certains points exposés par Mancini. Toutefois Lehtonen développe trois groupes cibles de l'IAM : les animaux d'élevages, les animaux sauvages et les animaux de compagnie.

I.2.2.1 Les animaux d'élevages

Le premier groupe est l'ensemble des animaux de fermes, ceci afin d'améliorer leurs conditions de vie et ce qui peut amener à une meilleure qualité des produits qu'ils produisent et ainsi avoir un impact économique positif pour les éleveurs.

Savage et al. [Savage et al., 2000] propose un scénario pour l'insémination des vaches. Au lieu de prendre leur température plusieurs fois par jour pour savoir quand une vache est prête, ce qui est contraignant pour la vache et l'éleveur, un dispositif pourrait mesurer en permanence la température et envoyer un signal à l'éleveur quand celle-ci atteint le niveau requis.

Lee et al. [Lee et al., 2006] ont quant à eux développé un système d'interaction entre un poulet et un humain. Ils expliquent que les poulets sont un des animaux les plus mal traités par l'industrie alimentaire. Lee et al. ont développé un système permettant à une personne d'interagir tactilement avec un poulet à travers internet. Le poulet est équipé d'un harnais possédant des vibreurs et des électrodes. La personne voit le poulet se déplacer dans un coin de jardin grâce à un système de réalité augmentée utilisant un écran à vision tête haute. Lorsqu'il touche le poulet dans le monde virtuel, une vibration est déclenchée sur le harnais du poulet. Les électrodes sur le poulet vont ensuite détecter si le poulet bouge et vont déclencher à leur tour une vibration sur le doigt de l'humain qui possède aussi un vibreur. La Figure 2 présente le schéma global du système.

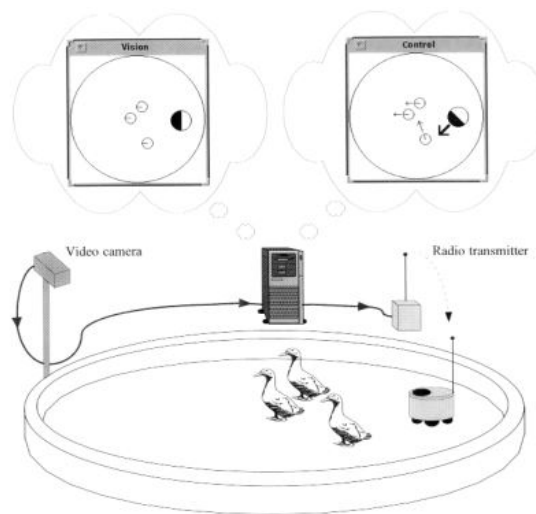


FIGURE 3. – Robot chien de berger.

Ils ont ensuite demandé à des utilisateurs d'interagir avec un poulet. Ils leur ont posé plusieurs questions afin de connaître leur ressenti par rapport à cette expérience. 84% des personnes pensent qu'un système tangible comme celui utilisé est un meilleur moyen de communication que système à base de webcam et téléphonique uniquement. Ils se sentent plus proches du poulet. Lee et al. ont aussi étudié l'interaction qu'avait le poulet avec le harnais. Pour cela, ils ont utilisé la méthode Duncan [Duncan et al., 1987]. Ils ont placé le poulet dans une pièce comportant 2 portes, une rouge et une bleue. Si le poulet choisit la porte bleue, il rentre dans une salle avec de l'eau et de la nourriture. S'il choisit de rentrer dans la salle avec la porte rouge il a de l'eau, de la nourriture et une personne lui installe le harnais et une autre personne interagit ensuite avec lui à travers le harnais. Au bout de plusieurs expérimentations, le poulet choisit à 73% la porte rouge avec le harnais. Il préfère donc cette salle. Lee et al. [Lee et al., 2006] mettent cependant une réserve à leur résultat en expliquant que le poulet est peut-être plus attiré par l'interaction avec la personne qui met le harnais qu'avec le harnais en lui-même. Cependant, cela montre que le port du harnais n'est pas repoussant pour le poulet.

Vaughan et al. [Vaughan et al., 2000] ont développé un robot chien de berger afin de diriger un troupeau de canards. Ils ont modélisé le comportement du troupeau afin que le robot puisse prédire en partie le comportement du troupeau et le diriger automatiquement à un point donné. Les résultats ont été probants dans les conditions préparées : intérieur, zone ronde, caméra pour suivi de la position du robot et du troupeau comme le montre la Figure 3. Ils expliquent que ce n'est que le début du projet afin d'arriver à un système opérationnel pouvant répondre aux contraintes réelles du rôle de chien de berger. Cette expérimentation montre tout de même que les canards adoptent le même comportement face à un robot que face à un chien.

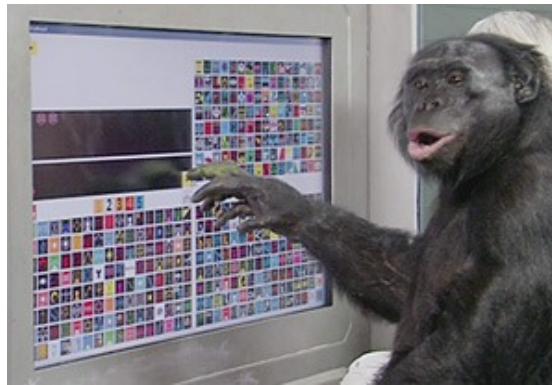


FIGURE 4. – Apes withe Apps

1.2.2.2 *Les animaux sauvages*

Le second groupe d'animaux est le monde sauvage. Des chercheurs utilisent la technologie afin de mieux comprendre les capacités cognitives des animaux sauvages. Lehtonen introduit le travail de Sweller Apes with Apps [Schweller, 2012]. Ils utilisent des tablettes afin de communiquer avec des bonobos comme le montre la Figure 4. Ces recherches, utilisant des tablettes, permettent de démontrer les grandes facultés de compréhension des bonobos et leurs capacités à apprendre notre langage. Ils ne parlent pas, mais ils peuvent se faire comprendre en utilisant un vocabulaire lexicographique. Un bonobo a appris un vocabulaire lexicographique présent sur une tablette. Avec ce vocabulaire, il a montré sa capacité à faire des phrases et même à faire des blagues.

1.2.2.3 *Les animaux de compagnie*

À l'heure actuelle, la majeure partie des études en IAM est réalisée sur les animaux de compagnie. Le but est d'améliorer leur bien-être et de permettre aux propriétaires de rester en contact avec eux lorsque ceux-ci sont éloignés du domicile, au travail par exemple. Un point important révèle que les propriétaires ne souhaitent pas automatiser les tâches qui les rapprochent de leurs compagnons, mais plutôt que la technologie les aide dans ces tâches.

Cheok et al. [Cheok et al., 2011] ont développé un système permettant d'interagir à distance avec un hamster. Leur système est appelé Metazoa Ludens. Le hamster est aussi un animal de compagnie très répandu. Pour l'expérimentation, le hamster est placé dans un enclos où ses mouvements sont enregistrés et un appât mobile est présent. Le hamster a un avatar qui reproduit ses mouvements dans un monde virtuel. L'utilisateur humain, qui est en général le propriétaire du hamster, a aussi un avatar. Le jeu consiste à échapper au hamster. Les mouvements de l'avatar humain font bouger l'appât dans l'enclos du hamster, la Figure 5 présente le principe. Afin de tester le bénéfice pour le hamster, ils ont également utilisé la méthode Duncan [Duncan et al., 1987] en laissant le choix au hamster de se rendre dans la zone de jeux

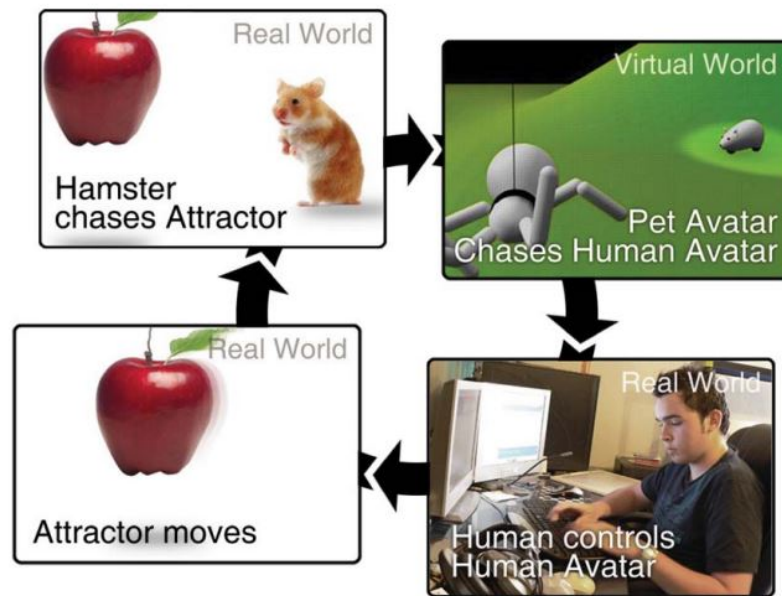


FIGURE 5. – Metazoa Ludens.

ou dans sa cage habituelle. Ils ont également étudié la santé physique des hamsters au cours du temps. L'étude montre que les hamsters ayant joué au jeu sont en meilleure santé que ceux ayant accès à la zone de jeux, mais sans l'interaction avec l'homme. L'activité sportive effectuée pendant le jeu a un bénéfice sur la santé des hamsters. L'étude montre que les utilisateurs se sentent connectés et plus emphatiques avec leur animal de compagnie.

D'autres recherches s'intéressent à l'interaction que peut avoir un animal de compagnie avec la technologie afin de développer des systèmes permettant à un maître éloigné, au travail par exemple, de communiquer avec son animal ou tout du moins pouvoir le surveiller.

Paaovaara et al. [Paasovaara et al., 2011] ont développé un concept de suivi d'activité d'un chien restant à la maison alors que le maître est sorti. L'étude veut répondre aux questions suivantes :

- Quels types d'informations seraient intéressants et utiles de suivre et de transmettre au maître lorsque leur chien est seul à la maison ?
- Quels types d'informations informent le propriétaire si tout va bien ou au contraire si le chien est en difficulté ?
- Comment la technologie peut-elle aider un propriétaire de chien à communiquer avec sa famille ou d'autres propriétaires de chien ?

Pour cela, ils ont proposé le concept de "Paw Tracker" à un ensemble de personnes. La Figure 6 montre les différentes possibilités de Paw Tracker :

- Le suivi des déplacements en intérieur et en extérieur.
- La réception des données physiologiques du chien comme la température

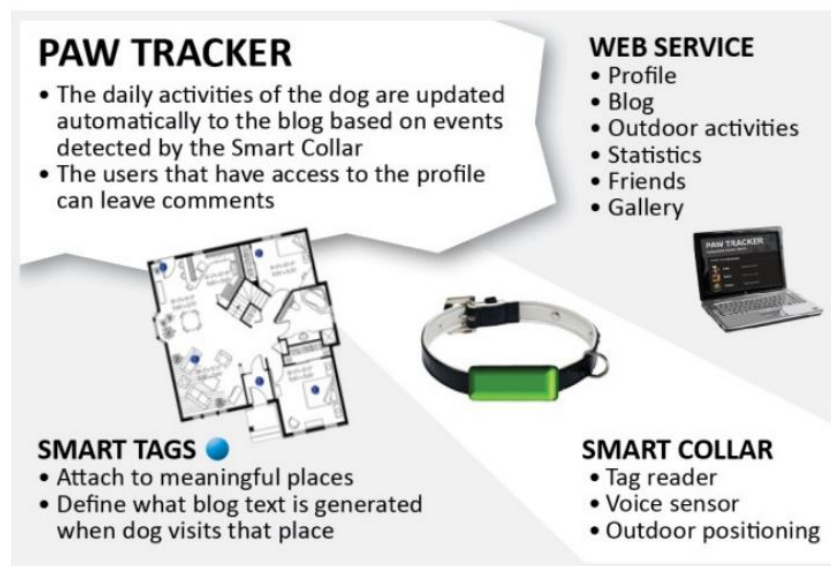


FIGURE 6. – Paw Tracker concept.

L'étude s'est faite sous forme d'un Magicien d'Oz. Les participants pouvaient suivre par vidéo leur chien et avaient accès à un blog. Un chercheur mettait à jour régulièrement ce blog en indiquant les activités du chien. L'étude montre que les personnes s'intéressent vraiment à l'activité de leur chien quand ils sont éloignés. La plupart ont également partagé le lien de leur blog avec d'autres personnes, famille, amis et collègues de bureaux. Les intérêts principaux des utilisateurs étaient de mieux comprendre leur animal et savoir s'il était en bonne santé et non stressé.

Paldanius et al. [Paldanius et al., 2011] ont mené deux études sur les technologies de communication homme-chien. La première afin de connaître l'utilisation actuelle chez un groupe spécifique de personnes : les chasseurs. La seconde afin de connaître les attentes sur ce type de technologie par des personnes possédant un chien de compagnie. La première étude sera présentée dans la section de chiens de travail section I.2.3. La seconde étude fut réalisée avec deux focus groups de 5 et 6 personnes recrutées dans des parcs et sur un réseau social. Trois concepts leur ont été présentés afin de leur donner une base de réflexion :

- Un collier donnant la température, le nombre d'aboiements, sa localisation et la possibilité de prendre des photos ou de courtes vidéos à distance.
- Un journal des exercices et activités physiques du chien.
- Un blog se mettant automatiquement à jour avec les activités quotidiennes du chien, rappelant celui évoquer précédemment [Paasovaara et al., 2011].

Les résultats montrent que pour les 3 concepts l'intérêt principal des personnes est le bien-être de leur chien, par exemple en utilisant des données biométriques et activités du chien afin de savoir s'il est stressé ou malade. En conclusion, les personnes sont intéressées par ces technologies si elles leur permettent de mieux comprendre leurs chiens et les aident à s'en occuper (conseil de dressage). Cependant, elles ne souhaitent

pas que certaines tâches soient automatisées, comme donner la nourriture ou utiliser des jouets automatiques.

Il est intéressant de voir que les études [Paasovaara et al., 2011] [Paldanius et al., 2011] menées par le laboratoire finlandais ont donné sensiblement les mêmes résultats.

[Gips et al., 2005] s'intéresse à l'aspect socialisant d'un chien. Par exemple, deux maîtres de chien engagent une conversation lorsqu'ils promènent chacun de leur chien au parc. Cet aspect socialisant est reconnu par l'association Handi'Chiens, elle explique que le chien "cache" le fauteuil de leurs bénéficiaires. Les personnes sont souvent attirées par les animaux de compagnie et l'attention ne se porte que plus tard vers le maître et cela peut engager un lien social. SNIF est un concept de laisse et collier électronique qui a pour but d'augmenter cet effet. Les possesseurs de SNIF font partie d'une communauté en ligne. Lorsque deux chiens appartenant à cette communauté se rencontrent, leurs colliers et leurs laisses s'illuminent. L'idée avancée par SNIF est que le signal lumineux est un bon moyen pour attirer le regard des chiens et également celui des maîtres. Les colliers se reconnaissent également avec des systèmes infrarouges et peuvent gérer ainsi un historique des rencontres. Le maître peut aussi noter si la rencontre a été favorable pour son chien ou non. Ce concept montre l'augmentation du facteur socialisant par la technologie.

À ces trois groupes, il convient d'ajouter celui des chiens de travail ; la section suivante lui est consacrée.

I.2.3 LE CHIEN AU TRAVAIL ET L'IAM

Le chien fait partie des animaux domestiques, mais il a été domestiqué avant tout pour rendre des services à l'homme. Certains chercheurs tentent de remplacer les chiens par des robots, mais cela est compliqué comme le montre [Vaughan et al., 2000].

D'autres chercheurs au contraire ont choisi d'étudier la technologie non pas pour remplacer le chien, mais afin d'améliorer l'interaction entre un chien de travail et son maître grâce à la technologie et ainsi d'aider le maître et le chien dans leurs tâches respectives.

La table Table 1 montre la répartition des travaux de recherche selon deux critères. Est-ce que les recherches ont pour but de recueillir des informations, provenant du chien afin d'aider le maître à mieux comprendre la situation du chien ? Ou ont-elles pour but de transmettre de l'information au chien afin qu'il réalise une tâche particulière ? On peut voir que la majorité des recherches se concentrent sur le recueil d'information. L'autre critère de répartition montre les cibles des recherches : un chien de travail particulier ou tout type de chien de travail.

Cet état de l'art présentera tout d'abord les articles sur le recueil d'information puis ceux sur la transmission d'informations et finira par la présentation de deux travaux sur la collaboration chien robot.

	Recueil d'information venant du chien	Transmission d'informations vers le chien
Tout type de chien de travail	[Brugarolas et al., 2012] [Brugarolas et al., 2013] [Ladha et al., 2013] [Valentin, 2014] [Miller, 2010] [Britt et al., 2010]	[Miller, 2010] [Britt et al., 2010] [Savage et al., 2000]
Chien d'assistance	[Jackson et al., 2013] [Valentin et al., 2014] [Alcadinho et al., 2014]	[Zeagler et al., 2014]
Chien de recherche	[Ferworn et al., 2007] [Tran et al., 2008] [Ribeiro et al., 2009]	
Chien de chasse	[Weilenmann et al., 2011] [Paldanius et al., 2011]	
Chien de détection de cancer	[Mancini et al., 2015]	

TABLE 1. – Les recherches en IAM pour les chiens de travail

1.2.3.1 *Le recueil d'informations venant du chien*

Les travaux présentés sont ceux de [Weilenmann et al., 2011] et de [Paldanius et al., 2011] sur les chiens de chasse. Ces deux articles ne présentent pas un nouveau système, mais étudient une situation dans laquelle la technologie est déjà utilisée afin d'améliorer le travail des chiens. En effet depuis quelques années les chasseurs ont à leur disposition des systèmes de localisation GPS afin de pister leurs chiens. Rappelons que la chasse est un des premiers services que les chiens ont rendus.

La première étude de [Paldanius et al., 2011], citée précédemment Figure I.2.2.3, fut réalisée grâce à 6 entretiens semi-structurés. Elle révèle que les chasseurs utilisant ces produits ne les utilisent que pour l'activité de chasse. Ils préfèrent également les solutions ne demandant pas d'abonnement même si elles sont plus onéreuses à l'achat. La possibilité de retrouver leurs chiens plus facilement leur permet de chasser avec des chiens dont le retour est moins fiable. Ils aimeraient cependant des systèmes un peu plus fiables et robustes. Ils seraient aussi intéressés par la possibilité d'entendre ce que fait le chien et de détecter s'il aboie. Ceci leur permettrait de mieux comprendre la situation du chien.

[Weilenmann et al., 2011] expliquent que l'approche théorique de l'IAM est compliquée, car l'homme utilise toujours une certaine forme d'anthropomorphisme lorsqu'il interagit avec un animal. Un exemple est le vocabulaire utilisé par le chasseur. "Good boy" et non "Good dog". De plus, il est impossible de pouvoir inférer un état mental particulier à un animal. Ils appliquent une approche ethnométhodologique à

l'IAM. Ils expliquent l'importance de regarder l'interaction homme-animal dans une situation usuelle particulière avec un contexte social particulier. La chasse est un bon exemple, cette activité a un but précis et le lien entre le maître et le chien est très fort. Cette approche est d'autant plus pertinente, car l'interaction entre un chien et un homme est basée principalement sur un langage non verbal. Dans cette étude, ils montrent que l'ajout d'information dû à l'utilisation du GPS influe sur la communication et entre le chasseur et son chien donc sur leurs interactions. Ils concluent sur le fait que l'interaction humain-animal devrait être étudiée dans un contexte social et non comme une relation dyadique. Ces deux articles montrent que la technologie est déjà incluse dans la relation humain-chien et modifie leurs interactions.

LA DÉTECTION DE POSTURE ET MOUVEMENT Les prochains articles présentés [Ribeiro et al., 2009], [Brugarolas et al., 2012], [Brugarolas et al., 2013], [Ladha et al., 2013], [Alcadinho et al., 2014], [Valentin, 2014] étudient la détection de posture et de mouvement du chien. Les chiens de travail effectuent des tâches qui leur imposent de prendre certaines postures. Pour certains, la posture est d'autant plus importante, car le chien est entraîné à communiquer avec son maître grâce ces postures. Un chien de recherche en zones urbaines après une catastrophe va s'asseoir s'il trouve un cadavre [Ribeiro et al., 2008]. Un chien de détection de cancer va également s'asseoir devant un échantillon qu'il considère positif [Mancini et al., 2015]. Pour ces raisons, il est intéressant de détecter la posture du chien.

Ribeiro et al. [Ribeiro et al., 2009] travaillent avec des chiens de recherche en zones urbaines. Ils proposent un système de détection de posture à distance. En effet la position de ces chiens à un sens particulier. Ce dispositif est intéressant si le chien est trop éloigné de son maître. Il est constitué de 2 accéléromètres : un entre les épaules et l'autre au niveau du bassin. Après analyse Ribeiro et al. ont défini un ensemble d'angles leur permettant de différencier 5 postures (assis, couché, debout, marche, l'action de s'asseoir). Ils ont testé leur prototype avec 5 chiens pendant 5 séances où ceux-ci exécutaient les 5 postures. Après analyse des vidéos de ces séances, le prototype permet une reconnaissance globale des postures avec 80% de fiabilité. Il est très bon sur les postures assises et debout, moyen sur le coucher, et inférieur à 50% pour la marche. Ribeiro et al. ont relevé qu'un chien a en général plusieurs positions couchées, sur le ventre et sur le côté.

Brugarolas et al. [Brugarolas et al., 2013] présentent leur "canine body-area-network" (cBAN). Le cBAN est composé d'un réseau de capteurs sans fil positionné sur le chien, d'un smartphone pour le maître et d'un ordinateur distant pour traiter les données des capteurs. Ils ont réparti 4 centrales inertielles sur le chien. Ils utilisent ensuite un modèle de Markov caché afin de reconnaître 3 types d'activités dynamiques (marcher, monter des marches, descendre une rampe). Ils utilisent ensuite un arbre de décision produit grâce à l'algorithme de classification supervisée C4.5 [Quinlan, 1993], afin de détecter 5 postures (assis, couché, debout, manger par terre, se tenir sur 2 pattes). Ils ont un résultat proche de 100% avec un apprentissage individuel par chien. Ils montrent que le passage à un groupe de chiens est plus compliqué. Ils ont déterminé que le gyroscope est plus approprié que l'accéléromètre pour

les activités dynamiques et que l'accéléromètre est plus approprié pour les activités statiques. Ils ont conclu que les meilleures positions pour les capteurs étaient sur la croupe et le torse du chien.

Les 3 travaux suivants se sont déroulés en parallèle de nos travaux sur l'activité du chien.

Dans leurs travaux [Ladha et al., 2013] expliquent que reconnaître l'activité du chien permet de reconnaître certains comportements et de monitorer la santé du chien. Ils ont mis un capteur contenant un accéléromètre 3 axes sur le collier. Ils ont effectué une expérimentation afin d'enregistrer le mouvement de 18 chiens de 13 races différentes et de toutes les tailles. Les expérimentations étaient filmées puis annotées afin de connaître l'activité du chien. 16 comportements sont annotés. Ils utilisent ensuite la méthode de classification des k plus proches voisins (avec $k=1$) entraînée avec la méthode de validation croisée sur 10 échantillons. Ils reconnaissent les 16 activités avec une précision moyenne de 70%, mais cela varie selon les activités. Leur expérimentation révèle qu'en séparant les chiens par taille, la reconnaissance de mouvement est bien plus efficace.

Les travaux de Valentin [Valentin, 2014] portent sur les chiens de travail qui utilisent certains mouvements ou postures afin de communiquer avec leur maître. Parfois le maître n'arrive pas à percevoir ces mouvements (trop rapide ou incomplet). L'idée présentée est d'utiliser un accéléromètre afin de détecter ces mouvements et postures. L'accéléromètre est placé au niveau du plexus sur un harnais. Ils ont enregistré l'activité d'un chien par vidéo. Cette vidéo a ensuite été annotée. Les mouvements et positions retenus sont les suivants : tourner sur lui-même, sauter, assis → debout, couché → debout, coucher → assis, debout → coucher, assis → coucher, rouler droite et gauche. La classification des mouvements est faite avec un algorithme de forêts aléatoires. Ils ont un taux de détection globale de 92%. Ils expliquent cependant que leurs résultats ne peuvent pour l'instant être généralisables, cela est dû à la grande variété de morphologies chez les chiens.

Alcaininho et al. [Alcaininho et al., 2014] travaillent avec l'association Canine Compagnon for Indépendance CCI. Cette association entraîne différents types de chien : chien d'assistance, chien guide et chien d'accompagnement. Le choix du rôle du chien se fait à 18 mois. L'idée proposée est d'enregistrer l'activité quotidienne du chien pour ensuite analyser son comportement et déduire quel sera le meilleur rôle qui lui convient. Alcaininho et al sont dans la première phase de récolte des données. Ils vont équiper 120 chiens avec le collier Whistle afin d'enregistrer leurs activités. La durée de l'expérimentation s'étend sur toute la période d'entraînement des chiens (famille d'accueil et stage en centre d'éducation) qui est de 22 mois. La seconde étape sera l'analyse des données afin de trouver des relations entre l'activité du chien et son habilité à remplir un certain rôle.

LA VISION Deux études ont été menées afin de montrer l'intérêt de recueillir une vision de l'environnement du chien [Ferworn et al., 2007] [Tran et al., 2008]

[Ferworn et al., 2007] explique que les chiens sont bien plus efficaces que les robots pour la recherche en zone urbaine sinistrée. En effet, ils sont bien plus autonomes que

des robots. Un robot est contrôlé à distance par des commandes simples : "avance", "gauche", "droite", etc. La commande pour le chien est de plus au niveau : "cherche". Cependant il est intéressant de pouvoir orienter le chien sur des zones ayant de fortes chances de trouver des survivants. Ferworn et al. ont créé un prototype de casque-caméra pour chien afin de permettre au maître de connaître l'environnement du chien si celui-ci est éloigné. Cette étude préliminaire montre le placement de la caméra sur la tête n'est pas optimal, car le chien utilise peu de sa vision pour se diriger quand il court. Il utilise beaucoup plus son odorat. De plus, la caméra vise le plus souvent le sol ou le ciel, ce qui est peu pertinent pour se situer dans l'environnement.

[Tran et al., 2008] montre la suite du projet. La caméra a été déplacée sur le côté du chien. Il explique la nécessité de la robustesse du dispositif. Le dispositif ne doit pas gêner le chien dans son travail. Ils ont mené une expérience grandeur nature qui a révélé qu'effectivement un flux vidéo permet au maître-chien de mieux comprendre la situation du chien. Un visionnage a posteriori a aussi permis de comprendre que le chien avait bien vu une personne à secourir, mais qu'il ne l'a pas considéré comme en danger compte tenu de sa position (debout).

Ces deux études montrent l'intérêt de recueillir un flux vidéo provenant du chien et montrent les difficultés de la mise en place de ce type de système.

UN CHIEN PROACTIF Dans les études précédemment présentées, les informations étaient récupérées de manière passive, vue du chien. Ce n'est pas lui qui choisit de transmettre l'information. Les travaux suivants montrent des méthodes permettant au chien de transmettre de manière active de l'information.

[Jackson et al., 2013] étudie un système d'interface canin sur un harnais. Ils présentent plusieurs scénarios où la technologie peut aider les chiens de travail dans leurs tâches. Ils ont créé 4 capteurs : deux capteurs de pression que le chien peut mordre, un ovale et un rectangulaire, un capteur de tension que le chien peut tirer et un capteur de proximité. Ils les ont testés pour savoir le ou lesquels étaient les plus appropriés. Ils ont testé les capteurs sur trois chiens, deux border collies et un golden/-labrador retriever, et ont mesuré la difficulté pour les chiens d'activer les capteurs. Le capteur de proximité s'activait si le chien était trop près de certains objets, cette solution n'a pas été retenue. Pour les border collie, les capteurs de pression étaient plus simples alors que c'était le capteur de tension le plus simple pour le retriever. Cette étude a montré qu'il était possible de créer des interfaces qui sont utilisables par les chiens. Leur système a besoin d'amélioration, notamment il faut trouver les zones qu'un chien peut atteindre facilement.

[Valentin et al., 2014] fait suite au projet Fido. Ils ont étudié les zones les plus appropriées pour le placement d'interface sur le chien même afin d'avoir un système transportable. Ils ont testé 7 emplacements : le torse, le fémur avant droit et gauche, les côtes du milieu gauche et droite et les hanches gauche et droite. Les résultats montrent qu'il est plus facile pour le chien d'atteindre les emplacements à l'avant (torse et fémur) que les emplacements où il doit regarder en arrière (côtes et hanches). Durant les tests, le chien était debout. Par la suite, ils comptent faire d'autres tests avec le chien en position assis ou coucher qui sont également des positions de travail.



FIGURE 7. – Échantillons de tissu potentiellement cancéreux

[Mancini et al., 2015] ont travaillé avec des chiens de détection de cancer. Les chiens sont capables de sentir la différence d'odeur entre des échantillons de tissu cancéreux ou non cancéreux. Afin de communiquer avec l'homme le chien est entraîné à s'asseoir devant un échantillon positif. Cependant ce comportement n'est pas intuitif chez le chien, en effet le fait de s'asseoir l'oblige à stopper son action de recherche puis ensuite de la reprendre. Cela engendre des erreurs ou parfois des incompréhensions de la part du maître. Mancini et al. ont modifié les supports du tissu (cf. Figure 7) afin de mesurer la pression de la truffe du chien lors de la phase de reniflage. L'expérimentation montre que le chien a tendance à appuyer plus fort et plus longtemps sur un échantillon positif. La différence est cependant que d'une seconde, ce comportement est difficilement perceptible par le maître. Avec un dispositif comme celui-ci, le chien n'a pas à s'arrêter dans sa tâche. Ce système peut rendre la tâche plus rapide est plus fiable. Cette étude est un bon exemple qui montre comment la technologie peut améliorer la communication entre un chien et son maître. Le chien n'a plus besoin d'effectuer une action contre-intuitive afin de communiquer avec son maître, car celui-ci perçoit mieux le comportement de son chien grâce à la technologie.

1.2.3.2 La transmission d'informations au chien

La majeure partie des recherches avec les chiens de travail consiste à recueillir de l'information provenant du chien. Cependant, quelques recherches ont été menées afin de tester si un système est capable de transmettre de l'information au chien.

Savage et al. [Savage et al., 2000] ont travaillé sur un système de guidage automatique pour le déplacement d'un chien dans une maison. La première étape a été l'entraînement d'un chien afin qu'il suive les commandes provenant d'une radio. Pour cela lors des entraînements, une radio est attachée au chien et une personne éloignée lui donne des commandes en utilisant la radio. Une seconde personne se trouve au côté du chien afin de le récompenser. Dans la deuxième étape, ils souhaitent savoir si le chien est capable de respecter les commandes sans la présence du maître. Pour cela, ils placent le chien derrière un écran. Il n'y a pas de précision sur le déroulement

de l'expérimentation effectué. L'idée finale est la suivante : utiliser un planificateur afin d'enchaîner une suite de commandes afin de faire déplacer le chien d'une pièce à l'autre. La localisation du chien dans la maison se fait grâce à des capteurs RFID. Les commandes apprises sont aux nombres de 15, mais il n'y a pas de précision sur leur dénomination. L'étude est a priori très intéressante par rapport à nos travaux, mais elle ne comporte que peu d'informations quant au déroulement de leurs expérimentations ou de leurs réussites.

Dans sa thèse [Miller, 2010] et dans un article annexe [Britt et al., 2010] Miller présente un système permettant de contrôler automatiquement un chien. Dans une première partie, il présente un système de localisation utilisant un GPS et une centrale inertielle. Il a développé un algorithme utilisant un filtre de Kalman étendu spécialisé. Celui-ci lui permet d'estimer la vitesse du chien ainsi que sa localisation même lorsque le GPS fait défaut. L'erreur moyenne entre la solution proposée et la valeur réelle du GPS (ayant une précision de 3.5 m) est de 7.5 m ce qui est satisfaisant. Dans une seconde partie, Miller présente un système de commande pour chien utilisant des sons et des vibrations. Deux chiens ont été entraînés à répondre à ces modalités. Avec 3 tonalités différentes, un chien peut avancer, s'arrêter et revenir au maître. Ensuite un vibreur de chaque côté du chien permet de faire tourner celui-ci d'environ 45 degrés à gauche ou à droite. Miller présente ensuite un algorithme de type Maximum Effort Controller. Il permet de contrôler un chien automatiquement en utilisant la localisation et le système de commande. Il obtient un résultat de 97% pour un parcours comprenant 2 points de passage, ce qui est très satisfaisant. Cependant le taux de réussite tombe à 70% pour un parcours à trois points de passage. Cette différence s'explique par le fait que le chien n'écoute plus les commandes du harnais au bout d'un certain temps dû au manque de récompenses. Cette étude montre que la vibration peut être un moyen de communication avec un chien. Elle montre également l'importance de la récompense par la maître afin que le chien effectue son travail correctement sur la durée.

Une étude plus récente [Zeagler et al., 2014] a étudié la capacité d'un chien à utiliser un écran tactile et également sa perception vis-à-vis de cet écran. L'idée est de permettre au chien d'assistance de pouvoir par exemple appeler les secours si son maître a fait un malaise. L'expérimentation consiste à faire toucher deux ronds de couleur bleu et jaune dans une séquence donnée. La première étape fut de trouver un dispositif d'affichage adéquat. Il s'avère que lors de prétests le chien a montré des difficultés à percevoir le rond jaune affiché par un projecteur de type LCD RVB. Ce type de projecteur utilise la persistance rétinienne en alternant très rapidement les couleurs rouge vert bleu. Zeagler et al. en ont déduit que le chien n'avait pas la même perception que l'homme quant à ce changement rapide de couleur. Ils ont ensuite utilisé un téléviseur LCD de 60 pouces, qui diffuse les 3 couleurs en continu. Un écran tactile a été positionné devant. Le système infrarouge est le plus approprié, car les écrans de type capacitif ou résistif sont perturbés par le dépôt de salive. Ils ont ensuite testé différentes tailles de cible et différents rapprochements entre les cibles afin de déterminer les plus appropriés. 3 chiens ont été utilisés pour cette expérimentation. Cette étude a montré la capacité des 3 chiens à interagir avec un écran tactile. Un des

chiens a même choisi par lui-même d'utiliser sa truffe et sa patte en même temps afin d'être plus rapide dans l'exercice. Cette étude a aussi montré la différence de comportement entre les chiens. Un des chiens était très enthousiaste à exécuter l'exercice alors qu'un autre chien au fil des séquences devenait frustré lorsqu'il commettait des erreurs et a fini par aboyer en direction de l'écran.

L'IAM n'est qu'à ses débuts, mais ce domaine de recherche est prometteur et peut permettre de mieux comprendre les animaux, et pourquoi pas un jour briser la barrière de langage qui nous sépare. Cet état de l'art a montré que le premier objectif de l'IAM est l'amélioration de la condition animale. Il fait suite au changement de point de vue des hommes sur la place des animaux dans notre société. Cet état de l'art a également montré le caractère exceptionnel du chien et qu'il est de ce fait une des cibles privilégiées de l'IAM. En effet la technologie peut améliorer/augmenter la communication homme-chien et ainsi faciliter ou améliorer le travail des différents chiens de travail et leurs maîtres.

I.2.4 SYNTHÈSE

Dans ce deuxième chapitre, nous avons pu rendre compte de différentes études en Interaction Animale-Machine. Plus précisément, des études sur le chien ont été présentées, mais aucune ne peut être utilisée directement pour la problématique du projet ANR Cochise. Néanmoins, certains résultats guident la réflexion comme ceux qui permettent d'obtenir des informations sur le chien.

I.3

INTERFACES MOBILE ET ACCESSIBILITÉ

Dans ce chapitre nous étudions les différentes formes de handicap et leurs rapports à la technologie pour savoir quels sont actuellement les systèmes les plus utilisés.

I.3.1 LE HANDICAP

L'ensemble des informations de cette section s'inspire du livre [A.P.F., 2002] "Déficiences motrices et situations de handicaps" édité par l'Association des Paralysés de France. Le terme "handicap" est récent, il vient d'un jeu "hand in cap" "main dans le chapeau" qui fut repris par le sport hippique et devint "handicap". Le but est d'égaliser les chances entre les coureurs par exemple en rajoutant un poids : en donnant un handicap. Le terme vient des États-Unis et ce n'est que dans les années 50 et 60 qu'il se transféra au monde médical et médicosocial. Cette métaphore révèle un changement important de l'état d'esprit des sociétés face aux personnes possédant des déficiences physiques ou mentales. Avant le siècle dernier, ces personnes étaient désignées par exemple comme infirmes ou imbéciles, toujours avec une forte connotation avec le pauvre, le mendiant. Ces termes évoquent une exclusion de la société. Quatre événements ont forcé la société à reconsidérer la place de ces personnes.

- L'industrie amène de nombreux accidents de travail. Les responsables ne sont plus uniquement les patrons, mais toute la société.
- Les soldats blessés de retour de la Première Guerre mondiale. L'auteur parle d'un sentiment de redevance sociale.
- Les très nombreux tuberculeux de l'époque souhaitent se faire entendre.
- L'école obligatoire a mis en évidence que le système normatif/standardisant de celle-ci n'est pas adapté à certains enfants.

Tout cela a amené à une volonté de réintégrer/réinsérer ces personnes qui étaient autrefois exclues de la société. Un autre point soulevé est qu'un handicap n'est pas lié uniquement à la personne qui le subit, mais bien à son environnement et à la société dans laquelle elle vit.

I.3.1.1 *Classification International du Handicap (CIH)*

Il est très difficile de définir le handicap. La définition change selon les dictionnaires ou les pays et évolue avec le temps. *aliéner, anormaux, boiteux, inadapté, infirme, important, mutilé, paralysé, handicapé (moteur/sensoriel, mental), etc.* ces termes peuvent référer à l'incapacité provoquée par le handicap, à l'origine du handicap ou aux parties touchées par le handicap. Le terme actuellement approprié est "personne en situation de handicap".

C'est pour cela que la CHI est une classification est non une définition, elle est perfectible, mais montre bien trois aspects du handicap : déficiences $\Rightarrow$ incapacités $\Rightarrow$ désavantages.

- Une déficience est une perte ou une altération d'une structure ou fonction (psychologique, physiologique, anatomique); la déficience correspond donc à une lésion et/ou au déficit en résultant (aphasie, paraplégie, etc..)
- L'incapacité correspond à toute réduction (partielle ou totale) de la capacité d'accomplir une activité d'une façon ou dans les limites considérée comme normale. Par exemple : incapacité à marcher, se lever, se laver, communiquer, mémoriser, etc.
- Le désavantage (conséquence des déficiences ou des incapacités) représente une limitation ou une interdiction d'accomplissement d'un rôle social normal : gagner sa vie, faire des études, avoir un emploi...

A ces trois éléments il est possible d'y ajouter la cause : Cause $\Rightarrow$ Déficiences $\Rightarrow$ Incapacités $\Rightarrow$ Désavantages.

TABLE 2. – Exemple de classifications de handicap

Maladies, traumatismes, malformations, vieillesse	⇨	Déficiences	⇨	Incapacités	⇨	Désavantages
poliomyélite	⇨	déficiences motrices (paralysies, amyotrophie)	⇨	incapacités motrices (à marcher)	⇨	désavantages (pour travailler, prendre les transports)
trauma crânien	⇨	déficiences motrices (paralysies)	⇨	incapacités motrices (à marcher)	⇨	désavantages (prendre les transports)
	⇨	déficiences psychiques (orientation, mémoire)	⇨	incapacités psychiques (à se repérer dans les lieux pu- blics)	⇨	désavantages (scolaire, travail)

La Table 2 donne deux exemples de classification. Cependant il ne faut pas y voir un effet de cause et conséquence stricte, un traumatisme crânien n'engendre pas forcément une déficience physique et une déficience psychique. Chaque cas dépend d'un individu, de l'environnement et peut évoluer au cours du temps particulièrement pour les maladies dites dégénératives ou plus simplement le vieillissement. Par exemple une personne en incapacité de marcher n'aura pas de désavantages à prendre les transports selon si elle se trouve dans une ville possédant l'infrastructure adaptée ou non. L'enchaînement n'est pas non plus équivoque : une incapacité à se mouvoir peut entraîner des déficiences (escarres, rétractation musculaire) et une incapacité n'entraîne pas forcément de désavantage.

1.3.1.2 *Les déficiences motrices*

Les déficiences motrices proviennent d'une déficience d'un ou plusieurs éléments composant l'appareil moteur : le système nerveux (encéphale, moelle épinière, nerf périphérique), les muscles (tendons, fibre musculaire) et le squelette (os et articulation).

1.3.2 L'ACCESSIBILITÉ DES INTERFACES MOBILES

Cette section commence par un court rappel des bases de l'Interaction Homme-Machine (IHM).¹

Puis elle se recentre sur les problèmes d'accessibilité des appareils mobiles (smartphones, tablettes, ou autres).

1.3.2.1 *Principes des bases sur les IHM*

L'IHM est un domaine vaste dont le but est de créer des systèmes bien adaptés aux besoins des utilisateurs. Pour cela le système doit être utile et utilisable :

- Utile
 - Permettre à l'utilisateur de faire ce qu'il a besoin de faire, pas plus pas moins.
- Utilisable
 - La simplicité d'apprentissage : Le temps mis par un novice pour comprendre le fonctionnement du système. Le pourcentage de services du système mis en œuvre par un utilisateur au bout d'un temps donné.
 - L'efficacité des utilisateurs : Le temps mis par l'utilisateur pour accomplir une tâche donnée.
 - La sécurité des actions sur le système : Nombre d'erreurs faites par l'utilisateur, criticité des conséquences.

Pour l'utilité il faut bien définir les besoins des utilisateurs. Pour l'utilisabilité des outils comme l'ergonomie sont disponibles. Christian Bastien et Dominique Scapin ont procédé à la synthèse d'environ 900 recommandations rassemblées dans le do-

1. Les éléments de cette section sont tirés du cours sur les IHM de Gaëlle Calvary.

maine de l'ergonomie informatique [Bastien et al., 1993]. Ils ont fait ressortir une liste d'une vingtaine de critères élémentaires (critères de base) répartis dans 8 dimensions (familles de critères ergonomiques principaux) :

- Compatibilité
- Adaptabilité
- Contrôle explicite
- Guidage
- Signifiante des codes
- Cohérences/Homogénéité
- Charges de travail
- Gestion des erreurs

La question de l'utilisabilité devient bien plus complexe lorsque l'on s'adresse à des personnes en situation de handicap. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, il n'y a pas un handicap, mais des handicaps qui se présentent sous plusieurs formes. Comment rendre les systèmes accessibles au plus grand nombre ? C'est le domaine de l'accessibilité numérique.

D'une façon générale au-delà de l'utilité et de l'utilisabilité, il convient d'étudier l'acceptabilité des systèmes dans leurs ensembles. Comme le montre la Figure 8 de [Pesty et al., 2011], l'acceptabilité d'un système ne dépend pas uniquement de son utilisabilité. Par exemple, de nombreux critères sociaux sont également à prendre en compte.

1.3.2.2 *L'accessibilité numérique*

Le domaine de recherche de l'accessibilité numérique est assez vaste et complexe. Il a pour but de rendre accessibles des systèmes à des personnes possédant des capacités très variées. Cependant, on remarquera que la majorité des travaux en accessibilité numérique se concentrent sur les personnes malvoyantes. Deux exemples : dans les actes de la conférence SIGACESS qui est une conférence dédiée à l'accessibilité numérique sur les 29 articles, 18 ont pour sujet de recherche les personnes malvoyantes. Dans le monde industriel, l'accessibilité est de plus en plus prise en compte, mais là encore la majorité est destinée aux personnes malvoyantes. La Table 3 montre les paramètres d'accessibilité disponible sur le système Android 5.0. 8 sont destinés aux malvoyants, 8 pour les malentendants et seulement 4 pour les personnes avec des déficiences moteurs.

Cela est certainement dû au fait que le handicap visuel (malvoyant ou aveugle) est précis contrairement au handicap moteur qui peut se montrer sous plusieurs formes. Malgré cela, plusieurs recherches s'intéressent aux handicaps moteurs.

1.3.2.3 *Écrans tactiles et handicaps moteurs*

Les déficiences motrices les plus couramment étudiées sont les suivantes :

- Faible force

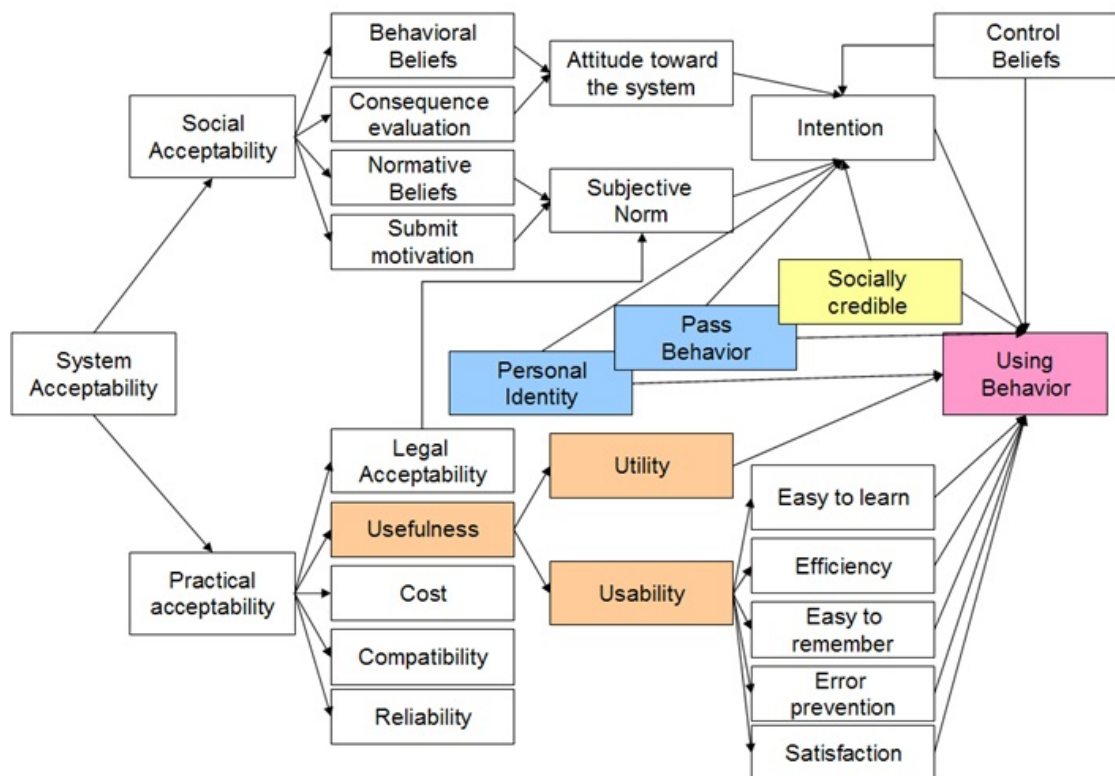


FIGURE 8. – Acceptabilité des systèmes

Video characteristics: • Video Purpose • Video Emotion (valence): negative or not • Context: <i>e.g.</i>, home, office, vehicle • Number of other people onscreen • Interaction of cameraperson w/ subject: yes or no • Language (either in video or in description)
Device usage in video: • Number of application(s) used • Category of application(s) used • Type of device(s) • Physical position of device(s): <i>e.g.</i>, lying flat, standing upright • Physical position of user: <i>e.g.</i>, sitting, lying down
User characteristics: • Age group: <i>e.g.</i>, small child (~1–5 years), child (~6–12), etc. • Gender • Type of disability/disabilities • Other assistive/accessible technology (unrelated to touch device): <i>e.g.</i>, wheelchair • Frequency of use: First time or not
Type of interaction: • Direct vs. indirect interaction • Number of hands (if direct and hands) • Direct touch detail (if direct): <i>e.g.</i>, index finger + thumb • Indirect interaction detail (if indirect) • Use of external objects with touch device: <i>e.g.</i>, head pointer

FIGURE 9. – Caractéristiques analysées dans les vidéos sur l'utilisation des écrans tactiles

- Tremblements
- Faible coordination
- Fatigue rapide et courante

[Irwin et al., 2012] ont montré que les personnes souffrant de ces déficiences sont plus lentes, ont un temps et une force de contact avec l'écran plus longs et plus forts que des personnes ayant toutes leurs capacités motrices. [Guerreiro et al., 2010] ont montré également que ces personnes ont tendance à faire plus d'erreurs et que cela les frustre.

Afin d'étudier l'utilisation des écrans tactiles par les personnes ayant des déficiences motrices [Anthony et al., 2013] ont analysé 187 vidéos non commerciales sur YouTube où des personnes montrent comment elles utilisent ou ont adapté leurs appareils. Ils expliquent que YouTube est une très bonne source d'informations. Ils restent conscients que les personnes mettant en ligne ce type de vidéo sont forcément adeptes de la technologie et qu'elles choisissent les situations qu'elles montrent. Ils ont classé les vidéos sur 21 dimensions regrouper en quatre catégories Figure 9.

Dans 78% des vidéos c'est un iPad qui est utilisé et uniquement 13 vidéos ont été mises en ligne avant la sortie de l'iPad en 2010. Cela montre que l'engouement du grand public pour ce produit se retrouve également chez les personnes en situation de handicap.

55% des utilisateurs utilisent leur index, cependant avec certaines difficultés. Les personnes avec des tremblements ou une faible capacité musculaire ont du mal à effectuer les mouvements de glisser. Pour les autres, les solutions utilisées sont variées : les

pouces, le poing fermé, la paume de la main, l'articulation des doigts, le nez, les pieds. D'autres personnes utilisent des sticks ou stylets qu'elles bougent avec la bouche.

L'analyse montre également que la position de l'appareil est horizontale (sur une table, par terre, sur des genoux) sur 42% des vidéos et vertical (avec un support ou tenu par quelqu'un) sur 41% des vidéos et seulement 8% tenu en main, mais rappelons que la plupart des appareils sont des tablettes et non des smartphones.

En plus de cette analyse des vidéos YouTube, les auteurs ont contacté et interviewé 11 personnes (parmi les 101) présentent sur les vidéos. Les commentaires dans les vidéos et les interviews ont montré que malgré les difficultés rencontrées à utiliser ces appareils, ils leur donnent une plus grande autonomie et indépendance.

Cet aspect de gain d'indépendance avait aussi été souligné par [Kane et al., 2009] qui ont étudié l'adoption des systèmes mobiles, et par [Verstockt et al., 2009] qui ont imaginé une surcouche applicative pour smartphone. Ces études ont été faites avant la sortie de l'IPad et l'engouement pour les tablettes qui en a résulté. Cependant elles montrent déjà que les personnes préfèrent des systèmes grand public moins adaptés que des systèmes spécialisés qui sont plus chers et dont la maintenance est fortement liée au bon vouloir du fabricant.

La conclusion de ces études est qu'un appareil grand public comportant des fonctionnalités d'accessibilité est mieux accepté qu'un appareil spécialisé.

[Trewin et al., 2013] fait une étude afin de déterminer les difficultés rencontrées par les personnes en situation de handicap. Un des points intéressants de leur étude est qu'ils ont interviewé des personnes utilisant un appareil tactile et des personnes n'en utilisant pas. 29% des non-utilisateurs pensent qu'un appareil tactile demande un effort visuel contre 67% pour les utilisateurs. Au contraire 86% des non-utilisateurs pensent que cela demande un effort mental contre 11% pour les utilisateurs. Cela illustre les a priori que les personnes peuvent avoir face à ces technologies.

Ils ont aussi testé les gestes interactifs classiques utilisés sur un smartphone. Sur 142 actions de tapotements effectuées par 14 personnes 49% des gestes ont commencé et fini sur la cible, 28% ont commencé ou ont fini sur la cible et 23% ont totalement raté la cible. Les résultats et les observations montrent que les personnes ayant des difficultés à effectuer le tapotement ont tendance à bouger le doigt sur l'écran durant le geste. Cela engendre parfois un geste de glisser à la place. Pour le mouvement de glisser, l'étude a montré que c'était plus un problème de précision sur la zone à glisser (équivalent à la barre de déverrouillage d'un iPhone) que le mouvement en lui-même. Un des auteurs de cet article est un ergothérapeute et a effectué les observations suivantes :

- L'effet 'cool' rend les smartphones et tablettes bien plus attrayants que des appareils spécialisés.
- Le fait de toucher ce qu'il regarde rend le toucher plus simple que l'utilisation d'une souris.
- L'interaction directe élimine le besoin d'avoir deux points de focus visuel : l'écran et le système d'entrée (souris ou clavier) ce qui est compliqué pour certaines personnes.

- Les écrans tactiles sont d'autant plus intéressants pour les personnes possédant une faible force musculaire.
- Une coque renforcée est importante contre les chutes.
- Un matériel antidérapant est important afin que les appareils ne glissent pas durant l'utilisation.
- Il arrive souvent que les utilisateurs effectuent des actions involontaires en touchant l'écran avec une partie de leur main. L'ergonome propose d'utiliser un stylet ou un gant avec un unique doigt coupé.
- Les événements utilisant le temps (double tapotement) sont bloquants pour plusieurs personnes. Elles peuvent les effectuer, mais cela leur demande plus de temps.

Un autre point important révélé par les auteurs de cet article est qu'une des raisons pour lequel les études américaines montrent que les personnes en situation de handicap préfèrent les tablettes aux smartphones est qu'elles sont généralement offertes par des proches et qu'un téléphone mobile standard est remboursé par les organismes d'assurances maladie américaines.

[Guerreiro et al., 2010] ont étudié le taux d'erreur de personnes tétraplégiques lors de l'utilisation d'un écran tactile. Ils l'ont étudié selon deux paramètres : la position sur l'écran et la taille des boutons. Ils ont montré que 12mm est une taille raisonnable pour un bouton. Ils montrent également une relation entre le taux d'erreurs et la distance entre la main et la zone à toucher : si le participant est droitier, il semblerait que les zones en bas de l'écran et à droite sont plus accessibles (le smartphone est posé sur une table lors des tests).

L'ensemble de ces travaux étudient les difficultés rencontrées par les personnes en situation de handicap utilisant des appareils tactiles. Les 2 études suivantes proposent un système d'aide utilisant une zone d'interaction augmentée.

La principale difficulté rencontrée est de viser une petite cible parmi d'autres. Le premier article présenté est celui de [Findlater et al., 2010]. Il vise les ordinateurs de bureaux utilisant une souris, mais il introduit le principe de zone d'interaction augmentée. Lorsque la personne clique dans l'interface, elle n'active plus le bouton sous la souris, mais déclenche un comportement de l'interface qui permet à l'utilisateur de choisir plus facilement entre tous les boutons dans une zone. Ils proposent 4 systèmes de zones augmentées :

- le Click-and-cross, lorsque la personne clique, tous les choix disponibles autour du point cliquer sont répartis sur un cercle et il faut ensuite croiser le bord du cercle afin de choisir l'action voulue. La Figure 10 montre les deux étapes.
- Le Cross-and-Cross, l'utilisateur n'a plus besoin de cliquer. Le cercle suit le curseur et à la place du clic il doit traverser le bord du cercle opposé à la direction du mouvement actuel.
- Le Motor-Magnifier après le premier Clic le curseur est ralenti dans la zone
- le Visual-Motor-Magnifier après le premier clic la zone est zoomée et le curseur est ralenti dans la zone

Leur résultat montre que le Cross-and-Cross et le Visual-Motor-Magnifier réduisent le taux d'erreur par 70% et 82% pour les petites cibles (inférieurs à 8 pixels) par rap-

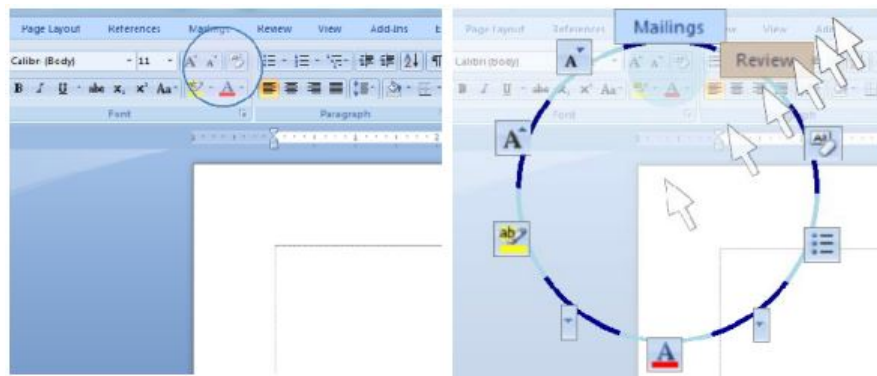


FIGURE 10. – Exemple de Click and Cross

port au Point-and-click classique. Cependant le temps d'acquisition est supérieur ou équivalent pour ces techniques si les cibles ont une taille de 8 pixels ou plus.

[Zhong et al., 2015] ont adapté le principe pour les mobiles Android. C'est une surcouche Android qui capture les événements utilisateurs. Si le système détecte une possible ambiguïté entre deux possibilités : la zone est zoomée ou les boutons possibles sont listés sur toute la taille de l'écran. Les tests ont montré que l'agrandissement de la zone était mal perçu par les utilisateurs. Un des utilisateurs a déclaré qu'il n'avait pas besoin de cette fonctionnalité, car il y voyait très bien, il n'a pas vu le zoom comme moyen d'agrandir les zones de toucher. Au contraire la liste qui réorganise les boutons en liste semble plus claire aux participants et réduit le nombre d'erreurs dans le cas où la densité de choix est grande.

Nous avons donc pu voir que les interfaces tactiles moyennant quelques précautions sont particulièrement adaptées aux personnes ayant des déficiences motrices. Toutefois il n'existe pas de solution universelle, il convient donc de concevoir des systèmes pouvant être adaptés en fonction des caractéristiques des utilisateurs.

I.3.3 SYNTHÈSE

Ce troisième chapitre présente la classification internationale du handicap. Elle met en évidence des différences humaines qui ont un impact direct sur l'usage de technologies électroniques. Se pose en particulier le problème de l'accessibilité des interfaces pour lesquelles un certain nombre de solutions sont proposées.

Vision	TalkBack
	Taille de police
	Inverser les couleurs
	Ajustement des couleurs
	Zoom tactile
	Notifications vocales de messages et d'appels
	Niveaux de gris de l'écran
	Raccourci d'accessibilité
Audition	Paramètre de synthèse vocale
	Type de son
	Balance du son
	LED de notification
	Alertes flash
	Message de rejet d'appel
	Désactiver tous les sons
Interaction	Légende
	Temps de réponse tactile
	Touch Assistant
	Temps avant la mise en veille de l'écran
Système	Zone de commande tactile
	Rotation automatique de l'écran
	Confirmation vocale du mot de passe
	Bouton d'alimentation pour raccrocher
	Raccourci vers les réglages d'accessibilité
Services	Entrée par appui
	Switch access

TABLE 3. – Options d'accessibilité d'Android 5.0

TECHNOLOGIES DES OBJETS CONNECTÉS

Ces dernières années un fort engouement s'est développé sur les objets connectés et l'Internet des Objets (Internet of Things IoT en anglais). L'IoT désigne l'extension de l'internet à des dispositifs électroniques généralement de taille réduite, connectés au réseau. L'IoT est présent dans de nombreux domaines comme la domotique, la santé, la logistique, l'industrie. Une majorité de ces objets sont des capteurs, par exemple un luxmètre ou un thermomètre connecté au réseau domestique dans une maison, un détecteur de chute ou un pilulier pour les personnes âgées et des systèmes de localisation pour les sociétés de transport. Ce terme couvre tellement de domaines que deux termes sont apparus : IIoT Industrial Internet of Things qui correspond à l'IoT pour les industriels et PIoT Personnel Internet of Things qui correspond à l'IoT pour les particuliers.

WEARABLE Dans le PIoT on retrouve tous les objets connectés portés directement par une personne aussi désignés par le terme de Wearable Computers. Dans la langue française il n'y a pas de terme représentant ces objets ; dans la suite de ce manuscrit le terme de Wearable sera utilisé. Les premiers wearables sont le smartphone et ses divers accessoires, les plus connus sont les montres connectées et les bracelets connectés. Dans le domaine du sport se développent également des t-shirts dans lesquels sont embarqués un ensemble de capteurs pour suivre les performances du sportif.

AUTONOMIE Une caractéristique commune à la plupart des objets connectés est qu'ils ne sont pas rattachés au secteur et fonctionnent sur batterie. L'autonomie est un point clé des objets connectés et elle est fortement dépendante du choix du système de communication.

COMMUNICATION La caractéristique principale des objets connectés est qu'ils sont connectés à un réseau par divers systèmes de communication. Le choix du système de communication prend en compte plusieurs paramètres, la quantité de données à transmettre, la fréquence d'utilisation, l'autonomie et la sécurité. Les différents systèmes de communication des IoT sont présentés dans la section suivante.

I.4.1 LES PROTOCOLES DE COMMUNICATION

Les protocoles de communication peuvent être classés en trois catégories : courte portée, moyenne portée et longue portée.

I.4.1.1 *Courte portée*

Les deux systèmes de communication courte portée les plus connues sont les tags RFID et les tags NFC. L'intérêt de ces deux technologies est que les tags sont des éléments passifs, ils ne nécessitent pas d'alimentation. Cependant il est nécessaire d'être très proche, voire coller aux tags, afin de les lire selon les lecteurs utilisés. La plupart des smartphones intègrent la technologie NFC.

I.4.1.2 *Moyenne portée*

Dans les protocoles moyenne portée on retrouve le Wifi, le Bluetooth et le Zigbee.

WIFI Le WiFi possède plusieurs normes 802.11, les plus connues sont les normes a/b/g et n. La norme 802.11b possède un débit de 6 Mb/s et une portée théorique de 300 mètres. La norme 802.11n a un débit réel pouvant aller jusqu'à 200 Mb/s dans un rayon de 100 mètres. Ces données sont théoriques et dépendent fortement du matériel utilisé. Une borne Wifi domestique atteint généralement quelques dizaines de mètres. L'inconvénient est qu'elle consomme beaucoup d'énergie. Il est nécessaire que les dispositifs l'utilisant soient connectés au secteur ou rechargés régulièrement.

BLUETOOTH 4.0 La dernière version du protocole Bluetooth intègre les versions antérieures. Le débit peut atteindre 2.1 Mb/s pour une connection standard. Pour les transferts de données la norme 802.11 (Wifi) est utilisé, la bande passante monte alors à 24 Mb/s. La portée varie selon la classe des puces Bluetooth, la classe 1 peut atteindre 100 mètres, 10 mètres pour la classe 2 et 1 mètre pour la classe 3. Le Bluetooth 4.0 possède une fonctionnalité en plus, le Bluetooth Low Energy (BLE). La norme BLE réduit fortement la consommation des puces Bluetooth. Le débit est cependant limité, inférieur à 1 Mb/s. Cette technologie est intégrée dans la plupart des smartphones actuels. Les accessoires de type montre connectée et bracelet connecté utilisent le BLE pour se connecter au smartphone.

ZIGBEE Le Zigbee est une technologie qui a été développée principalement pour les réseaux domestiques. Ces caractéristiques d'autonomie et de portée sont proches du Bluetooth. Son intérêt est que sa mise en œuvre est moins chère et plus simple. Ceci le rend attractif pour les industriels. Son débit peut aller de 20 à 250 Kb/s.

I.4.1.3 Longue portée

Jusqu'à récemment le choix d'un protocole de communication longue portée était limité aux différents réseaux cellulaires GSM, EDGE, 3G, 4G. Cependant ces protocoles consomment beaucoup d'énergie et ne sont pas adaptés pour la communication de petites quantités de données. De nouveaux protocoles longue portée et basse consommation sont apparues. Ils sont dédiés aux communications Machine à Machine (M2M) à faible débit et faible consommation par exemple : SigFox, Lora, Weightless-N, Qowisio, Ingenu,... Sigfox et Lora sont les deux principaux ayant un rayonnement international.

I.4.2 LES ACTEURS DE LA COMMUNICATION

RÉSEAUX CELLULAIRES Les réseaux cellulaires ont l'avantage de posséder une couverture large. La dernière version 4G possède des débits théoriques supérieurs à 100 Mb/s, voire supérieurs à 1 Gb/s. Ils ont cependant plusieurs inconvénients :

- La consommation d'énergie en communication est élevée.
- L'utilisation et la maintenance des réseaux cellulaires sont assurées par des opérateurs téléphoniques. Il est nécessaire de posséder un abonnement afin de les utiliser.

Les dispositifs IoT en général ne génèrent pas une telle quantité de données à transmettre et sont des dispositifs pour lesquels l'autonomie est un point clé. Les réseaux cellulaires ne sont donc pas adaptés au IoT.

SIGFOX La société Sigfox¹ se positionne comme un opérateur réseau de l'internet des objets. La société ne fabrique pas ces propres modules. Le protocole Sigfox est ouvert et de nombreux fabricants fournissent des modules compatibles avec sa technologie "Ultra Narrow Band". Sigfox a déployé un réseau d'antennes à l'international dans plus de 22 pays. La France est couverte à 92%. L'offre propose de transmettre jusqu'à 140 messages de 12 octets par objets et par jour, et à un débit ne dépassant pas 100 bits par seconde. Les messages sont envoyés sur des serveurs Cloud sur lesquels les abonnés peuvent les récupérer. Le coût de l'abonnement varie entre 1 à 14 euros par ans selon le nombre d'appareils et le nombre de messages envoyés. L'offre de Sigfox proposant initialement uniquement l'envoi de message des modules aux serveurs a évolué en offrant la possibilité d'envoyer également des messages afin de s'aligner sur la technologie LoRa bidirectionnelle.

LORA Lora est une technologie de modulation radio sur laquelle se base le protocole LoRaWAN. LoRaWAN est un protocole protégé par deux brevets de la société américaine Semtech. Il est cependant ouvert et ses spécifications sont connues². La spécification LoRaWAN permet de couvrir des besoins assez variés avec : des débits allant de 300 bits/s à 100 Kbits/s, une diffusion en unicast ou multicast et une communication bidirectionnelle avec les objets connectés. Cette flexibilité est un atout du

1. <http://www.sigfox.com/fr>

2. <http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>

protocole LoRaWAN. Il permet d'adapter l'équilibre entre consommation électrique et fréquence de réception et d'envoi de données. Plusieurs fabricants produisent des composants compatibles LoRa cependant ils sont tous sous licence de Semtech. Une association, la LoRa Alliance, s'est développée et regroupe plusieurs acteurs autour de la technologie LoRa : des opérateurs téléphoniques comme Bouygues Telecom et Orange, des fabricants de modules, des industriels déployant des réseaux LoRa dans leurs sites de production.

Ces deux technologies ont la particularité d'être peu sensible aux interférences. Elles ont une portée similaire de 10 à 15 km. Leur principale différence se situe dans leur modèle économique. Sigfox est l'opérateur réseau leader sur le marché M2M. Il se déploie rapidement dans de nombreux pays et offre ainsi une grande couverture réseau. L'utilisation de la technologie LoRa est poussée par la société Semtech grâce une association regroupant différents acteurs industriels. Elle est basée sur la vente de modules et composants sous une licence Semtech.

I.4.3 SYNTHÈSE

Le choix de la technologie de communication est lié aux caractéristiques d'usage. Dans le travail présenté dans la partie suivante, nous verrons que plusieurs développements ont été effectués utilisant Xbee (une version longue portée de ZigBee), Wifi, Bluetooth, LoRa en fonction des besoins expérimentaux. Dans la version finale du collier connecté, une solution mixte de communication est utilisée. Elle utilise le Bluetooth pour des échanges de fichiers de configuration et LoRa pour la communication longue distance en usage extérieur.

Deuxième partie

UN DISPOSITIF DE COMMUNICATION ACCESSIBLE HOMME CHIEN

II.1

LE PROJET ANR COCHISE : ANALYSE ET HYPOTHÈSE

Afin de mener l'étude liée au projet ANR Cochise, il est nécessaire de se focaliser sur un scénario précis et de définir les hypothèses de l'étude. Nous énumérerons une série de contraintes et d'hypothèses liées au respect de l'animal et de sa socialisation, ainsi que des contraintes qui portent sur l'utilisation par des personnes en situation de handicap.

SCÉNARIO PRINCIPAL : LE RAPPEL DU CHIEN Handi'Chiens expose le problème du rappel du chien comme un réel besoin pour les bénéficiaires et leurs chiens. En effet, un bénéficiaire est très lié à son chien, celui-ci l'aide à de nombreuses tâches quotidiennes. Il devient en partie dépendant de son chien. Une des règles de Handi'Chiens est que le bénéficiaire doit laisser son chien se défouler au moins une heure par jour. Le chien est alors détaché et peut courir à sa guise. Cependant cette règle est peu respectée. En effet, certains bénéficiaires ont peur que leurs chiens aillent trop loin et qu'ils ne puissent plus le récupérer. Ils laissent alors leur chien attaché à leur siège toute la journée ou dans un espace clos. Le projet ANR Cochise a donc pour but d'améliorer la communication entre le maître et son chien afin que le maître ait moins peur de perdre son chien.

Le système développé dans le cadre du projet ANR Cochise doit donc permettre à un bénéficiaire de Handi'Chiens de communiquer à distance avec son chien soit pour le faire revenir, soit pour lui demander de l'attendre. Le maître doit pouvoir agir sur son chien à distance, pour cela il a également besoin de connaître à distance la situation de son chien : sa position et son activité.

Les questions sous-jacentes à cette étude sont :

- Est-ce qu'un chien obéira à un dispositif électronique ?
- Quels sont les sens utilisables par le dispositif électronique dans l'Interaction Animal-Machine ?
- Comment rendre accessible l'utilisation de ce dispositif au maître en situation de handicap ?
- Quelles sont les caractéristiques des dispositifs électroniques qui pourront permettre d'interagir avec un chien ?

Comme l'interaction implique l'échange d'information dans les deux sens (homme vers chien et chien vers homme), on peut alors décomposer cette question de la manière suivante :

- Comment agir sur les différents sens du chien ?

— Comment mesurer et percevoir l'activité du chien ?

En plus de ces différentes questions, il faut dans cette étude, prendre en compte les contraintes liées au contexte du projet : respect de l'animal, accessibilité, socialisation.

RESPECT DE L'ANIMAL Afin de respecter le chien, les dispositifs qu'il embarque doivent respecter un certain nombre de contraintes :

- Respecter la santé de l'animal. L'utilisation du dispositif en extérieur ne doit pas introduire des risques d'accident pour le chien. Par exemple, il faut éviter les angles vifs, des boucles qui pourraient s'accrocher, des radiations électromagnétiques ...
- Respect des mouvements de l'animal. Ils doivent être suffisamment petits, ne doivent pas gêner les mouvements du chien comme avaient pu le faire les systèmes de localisation des phoques (cf. section I.2.1). Enfin, le poids doit être faible pour éviter la fatigue du chien.

D'autres contraintes sont liées à l'utilisation en extérieur avec en particulier :

- Avoir une portée relativement grande (500 mètres ou plus) avec une consommation modérée.
- Posséder une résistance à l'eau de pluie au minimum, voire à la baignade.

ACCESSIBILITÉ Les systèmes doivent être utilisables par des personnes en situation de handicap et par les éducateurs qui sont des personnes n'étant pas forcément habituées à utiliser les nouvelles technologies. Ces personnes doivent être capables d'installer et d'utiliser ces systèmes. La section II.2.2 reviendra sur l'importance de cette contrainte lors de la présentation du premier prototype de harnais développé. L'interface des systèmes du côté de l'humain doit être accessible et acceptable pour les personnes en situation de handicap (cf. Chapitre I.3). Elle doit également être transportable aisément, car elle doit être disponible à la personne à tout moment et en tout lieu.

SOCIALISATION Les autres contraintes viennent des méthodes d'éducation de Handi'Chiens. Handi'Chiens respecte de nombreuses règles concernant le traitement de ses chiens et de leur éducation. Ces règles permettent aux chiens de garder un comportement social affectueux. Lors du stage de deux semaines avant la remise des chiens, ces règles sont transmises aux bénéficiaires. Nous devons respecter à notre tour ces règles. La première règle est qu'il est interdit d'utiliser des systèmes punitifs tels que les colliers à chocs électriques (Figure Figure 11). Ces outils peuvent rendre les chiens craintifs et peureux, ce qui est l'inverse du caractère social que recherche Handi'Chiens pour ses chiens d'assistance qui ont accès à tous les lieux publics d'après la Loi n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées.

SYNTHÈSE Ce petit chapitre a énuméré la liste des questions auxquelles le présent travail doit fournir des éléments de réponse. Les contraintes liées aux dispositifs développés sont :



FIGURE 11. – Exemple de collier d'éducation à chocs électriques.

- Le respect de l'animal : taille, poids, encombrement, position sur l'animal.
- Accessibilité : utile, simple, utilisable par des personnes porteuses de handicap, utilisable par l'éducation des chiens
- Socialisation : récompense du chien avec voix et caresse

II.2

UNE DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE INCRÉMENTALE

Ce chapitre présente les différentes étapes suivies afin de répondre aux objectifs de ce travail. Afin d'étudier l'interaction entre un chien et une machine, il est nécessaire de concevoir les dispositifs permettant cette interaction. Nous avons décidé de suivre une démarche incrémentale afin de concevoir ces dispositifs et de les tester au fur et à mesure. La première section présentera une série d'études menées en laboratoire qui correspondent à des tests unitaires. Tout d'abord, une série d'actionneurs sont étudiés qui agissent sur les différents sens du chien. Ensuite, pour mesurer et percevoir l'activité du chien, une série de capteurs sera expérimentée. Nous montrerons par la suite l'intégration et le test de l'ensemble de ces fonctionnalités sur quatre dispositifs : un harnais, un collier de laboratoire, un collier intégré pour les éducateurs et un collier connecté complet.

II.2.1 ÉTUDES PRÉLIMINAIRES EN LABORATOIRE

La première étape a été d'analyser quels dispositifs technologiques peuvent améliorer l'interaction homme-chien dans le cas où celle-ci est dégradée, soit par l'éloignement, soit par des déficiences de la part du maître en situation de handicap. Nous avons ensuite élaboré des études préliminaires en laboratoire afin de valider les idées retenues. La réflexion a été séparée en 2 parties comme nous l'avons vue au chapitre précédent :

- Comment agir sur les différents sens du chien ?
- Comment mesurer et percevoir l'activité du chien ?

II.2.1.1 *Comment agir sur les différents sens du chien ?*

Afin de répondre à la première question, nous avons potentiellement accès aux 5 sens. La Table 4 présente nos idées de stimuli pour chaque sens. Le langage verbal est le lien de communication privilégié de l'homme y compris lors d'une communication avec le chien : Handi'Chiens entraîne ses chiens à répondre à une cinquantaine de commandes. Nous avons donc choisi d'utiliser la voix comme vecteur principal afin de communiquer avec le chien. La question principale de ce travail est devenue : Un chien est-il capable de répondre à une commande vocale distante ? Pour répondre à

cette question, nous avons effectué une première expérimentation en laboratoire (cf. sous section II.2.1.1.1).

Sens	Stimuli	Statut
Ouïe	Commandes vocales	Expérimenté
	Sons divers	Perspective
Toucher	Caresses	Expérimenté
	Vibrations	Expérimenté
Goût	Croquettes	Refusé par Handi'Chiens
Vue	Pointage	Perspective
Odorat	Spray citronnelle	Compatible

TABLE 4. – Stimuli par sens

Les sections suivantes présentent les différentes études préliminaires effectuées en laboratoire.

II.2.1.1.1 *Commandes vocales distantes*

La première hypothèse à confirmer avant de pouvoir continuer ce travail est de valider le fait qu'un chien peut exécuter une tâche suite à une commande vocale donnée à distance sans la présence de son maître. Dans cette étude préliminaire, nous avons choisi d'utiliser des commandes préenregistrées. La première raison est la complexité de la synthèse d'une commande vocale et notamment l'importance de sa prosodie communément appelée intonation.

L'IMPORTANCE DES INTONATIONS En plus d'un riche vocabulaire de commandes. L'intonation de chaque commande est toute aussi importante que la commande elle-même. Il existe 3 types d'intonation dans les commandes apprises par Handi'Chiens.

L'intonation est une modulation de la voix, elle correspond à la hauteur et à l'intonation des voyelles.

- L'intonation montante : une montée de la voix sur la dernière syllabe, proche de l'intonation interrogative. Elle est utilisée pour les commandes où le chien doit être actif ou bouger. L'intonation l'incite à faire l'action. Exemples : "Viens!", "Monte!", "Genoux!".
- L'intonation descendante : la voix descend comme en fin de phrase. Elle est utilisée pour les commandes où le chien doit se calmer ou tenir une position. Exemples : "Doucelement.", "Assis.", "Couché."
- L'intonation neutre : l'intonation est la même en début et en fin de commande. Elle est utilisée pour les commandes ne nécessitant ni l'excitation ni l'apaisement du chien. Exemple : "Donne", "Fini".

Chaque commande a sa propre intonation. Cependant, certaines commandes montantes peuvent être répétées avec une intonation descendante une fois que le chien a effectué l'action afin de lui confirmer qu'il a bien effectué la tâche. Par exemple, le maître demande au chien de monter sur une caisse afin qu'il soit à sa hauteur. Il va

donner la commande "Monte !" avec l'intonation haute jusqu'à ce que le chien monte sur la caisse. Lorsque le chien est monté sur la caisse le maître donnera la commande "Monte." une dernière fois, mais avec une intonation descendante puis récompensera le chien verbalement et par une croquette ou une caresse. L'intonation est très importante pour que le chien respecte la commande et qu'il ne soit pas perdu. Par exemple si le chien est assis et qu'on lui demande de se coucher avec une intonation haute, il sera perturbé entre la commande et une intonation l'invitant à bouger. Au final il a de grandes chances de se lever.

Toujours avoir la bonne intonation est un acte difficile, l'intonation naturelle d'une personne peut changer selon son état de fatigue ou son état émotionnel. Une personne énervée a tendance à parler avec une intonation haute, voire même de crier. Or même si le chien est excité et qu'on n'arrive pas à le calmer, il ne faut surtout pas lui crier dessus. Au contraire le chien va percevoir l'énervement et va être perturbé d'autant plus.

Les bénéficiaires de Handi'Chiens ont 15 jours pour apprendre les commandes, leurs intonations et les règles de base pour communiquer avec leur chien. Ce temps est court et pour différentes raisons garder la bonne intonation peut être plus compliqué pour certaines de ces personnes : difficultés d'élocution, moment de fatigue régulier.

Avec une commande préenregistrée, le maître a la possibilité d'enregistrer sa voix avec la bonne intonation à un moment où il est en bonne condition et ensuite d'utiliser cette commande "parfaite" lorsqu'il est stressé ou fatigué.

Une commande préenregistrée présente deux autres intérêts :

- La possibilité au système de donner une commande au chien automatiquement.
- Une réduction de la bande passante nécessaire pour une communication à distance.

QUESTIONS ET EXPÉRIMENTATION PRÉLIMINAIRE EN LABORATOIRE Les paragraphes suivants présentent l'expérimentation en laboratoire mise en place afin de répondre à la question "Un chien peut-il répondre à une commande préenregistrée ne venant pas directement de son maître?"

Nous avons développé un premier prototype composé d'un harnais sur lequel nous avons fixé un smartphone et connecté à deux haut-parleurs amplifiés. La Figure 12 montre le chien Calipso utilisé lors de l'expérimentation. Les haut-parleurs sont situés sous les oreilles et le smartphone est positionné au niveau du poitrail.

PRÉPARATION DE LA BASE DE DONNÉES DES COMMANDES. Le maître a enregistré au préalable une unique version de la commande "Couché" avec une voix neutre.

CONTEXTE DE TEST. Calipso a été équipé au préalable du harnais. Il a été isolé dans une pièce disposant de caméras retransmettant en direct les images afin de voir en temps réel les réactions du chien. Une fois le chien laissé seul dans la pièce, le maître déclenche à distance une commande. Par exemple, pour la commande "Couché" : (1) si le chien a répondu positivement à la commande (il s'est couché), le maître retour



FIGURE 12. – Calipso équipé du harnais vocal

dans la pièce pour féliciter le chien et lui demander de se remettre en position debout, et (2) si le chien n'a pas répondu positivement à la commande (il est resté debout, s'est assis...), le maître ne retournait pas dans la pièce ; une nouvelle commande était alors lancée au bout de 3 secondes. En tout, cinq commandes "Couché" ont été données au chien.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION. L'essai avec le prototype a donné les résultats suivants. Lorsque le collier a émis la première commande "Couché", Calipso a tourné la tête, à droite et à gauche, tout en se déplaçant (comportement d'exploration de l'environnement, supposément de la surprise). À la seconde émission de la commande "Couché", Calipso s'est positionné devant la porte où son maître est entré et sorti. À l'émission de la troisième commande "Couché", Calipso a enfin répondu à la commande en se couchant. Lors des deux tentatives suivantes, Calipso s'est couché dès l'émission de la commande "Couché". Cet essai peut s'expliquer par une première phase où Calipso cherchait la source d'émission de la voix de son maître (comportement d'exploration de l'environnement, puis installation à proximité de la porte où était sorti son maître). Néanmoins, cet essai est concluant, car au bout du troisième essai, Calipso a compris la situation expérimentale et la commande en se couchant. La répétition de la commande a conduit au même résultat (Calipso s'est couchée) avec un renforcement positif entre chaque émission de commande (le maître vient le féliciter). Ce premier essai est très encourageant pour la suite, car, sans apprentissage préalable, le prototype a pu jouer d'intermédiaire entre le chien non éduqué et son maître, montrant ainsi la possibilité d'utiliser un tel matériel pour donner des commandes au chien sans la présence physique de son maître.

II.2.1.1.2 *Le toucher*

Un autre canal de communication sur lequel nous avons travaillé est le toucher. Le toucher est un sens important dans la construction du lien social que ce soit chez le chien ou chez l'homme et donc dans la relation homme/chien. L'interaction tactile principale entre un maître et son chien est la caresse. C'est un moyen de récompenser le chien ou juste de jouer avec lui qui est aussi perçu comme une récompense. Il est possible de caresser un chien de différentes manières et à différents endroits. Cela peut être par exemple de longues caresses avec la main à plat ou de petits gratouillis énergiques. La Figure 13 et la Figure 14 montrent de manière humoristique les différentes zones de caresse et leur sensibilité chez le chat et le chien. Entre un chat et un chien, les zones sont différentes, cependant c'est également le cas entre différents chiens. Chaque maître a également sa manière de caresser son chien et chaque chien à sa manière de ressentir les caresses. Les éducateurs de Handi'Chiens nous ont aussi appris que certains chiens n'aimaient pas le contact physique. Ces chiens restent très sociaux, une récompense verbale leur suffit.

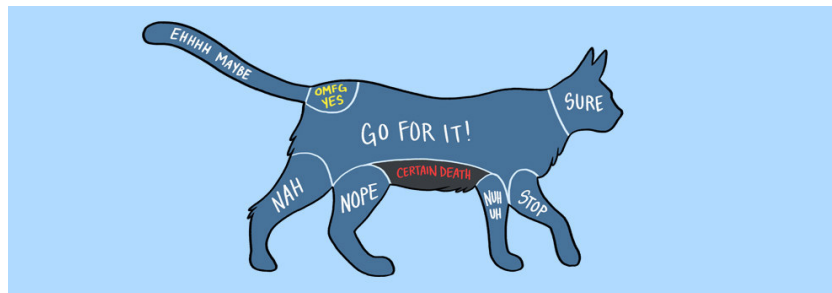


FIGURE 13. – Zone de caresse du chat

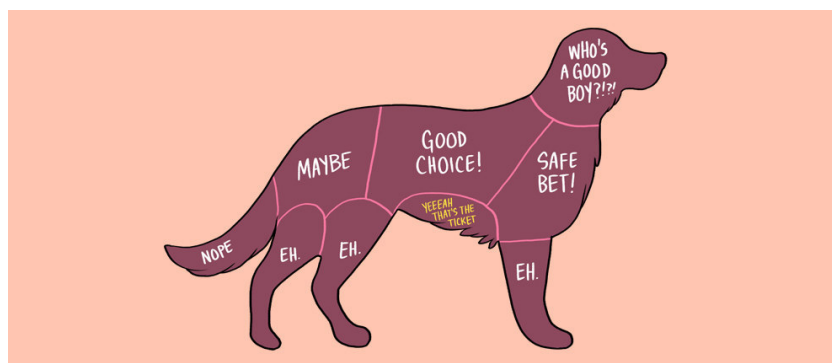


FIGURE 14. – Zone de caresse du chien

Pour les bénéficiaires de Handi'Chiens en fauteuil roulant ayant peu de mobilité, les chiens de Handi'Chiens ont appris une commande les autorisant à monter sur le fauteuil et à placer leur cou au niveau de celui de leur maître.

Pour ces raisons nous avons choisi de travailler sur ce canal de communication. L'objectif principal est de résoudre le problème de récompense révélé par [Miller, 2010].

Rappelons que l'utilisation de nourriture n'est pas une option pour la récompense. [Miller, 2010] ont également montré que la vibration est un moyen de communiquer avec un chien.

Afin de savoir comment un chien réagit spontanément à une vibration, une ceinture de vibration a été développée et expérimentée. La Figure 15a présente la ceinture. Huit vibreurs sont répartis dans la ceinture. La Figure 15b présente l'intérieur de la ceinture de vibration. Les vibreurs sont pilotés par une carte de type Arduino placée dans une trousse de protection. Cette même carte communique par Bluetooth avec un smartphone. Le smartphone permet de régler la puissance de vibration et de déclencher tous les vibreurs ou uniquement les vibreurs d'un côté de la ceinture.

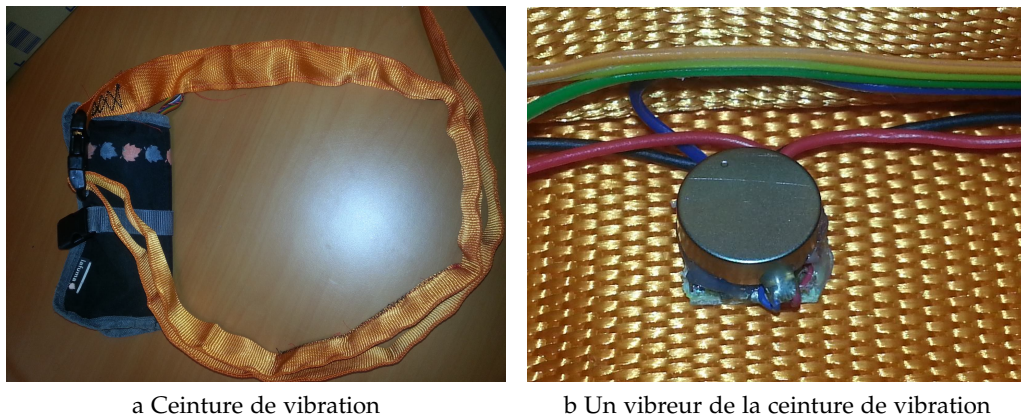


FIGURE 15. – Ceinture de vibration

Une expérimentation en laboratoire a été menée de la manière suivante :

- Un chien Calipso a été équipé du harnais de Handi'Chiens et de la ceinture de vibration. La trousse de protection est mise dans une des poches du harnais.
- Le maître est au côté de son chien. Une seconde personne pilote les vibreurs.
- Des vibrations ont été déclenchées sur l'ensemble de la ceinture en augmentant la puissance jusqu'à ce qu'une réaction soit détectée sur le chien Calipso.
- La réaction a été un très léger regard en arrière.
- La puissance a été montée légèrement.
- La réaction a été un déplacement de Calipso. Le chien a semblé chercher la provenance de la vibration.
- Le maître s'est rapproché de Calipso et la puissance a été redescendue.

Cette expérimentation a permis de montrer qu'un chien réagit à un stimulus de type vibration. Le conserver dans un système complet est donc raisonnable même si les expérimentations montreront une grande variabilité dans la réaction des chiens.

Par ailleurs, toujours sur l'étude du sens du "toucher", nous avons mené de nombreuses études pour tenter de reproduire des caresses. Nous avons développé quatre dispositifs différents qui n'ont pas donné de résultats globalement satisfaisants. Pour cette raison les systèmes intégrés que nous présenterons par la suite n'ont pas retenu

la caresse comme actionneur utilisable. De ce fait, nous avons reporté en Annexe A (page 128) l'ensemble des développements et expérimentations menées sur ce sujet.

II.2.1.1.3 Le goût et la nourriture

Un moyen de communication fort avec le chien est la nourriture. Suite aux résultats de la thèse de [Miller, 2010] qui montre qu'une récompense est nécessaire, nous avons étudié différents systèmes pour donner de la nourriture, afin de récompenser le chien à distance :

- Un système distribuant des croquettes avec une vis sans fin.
- Un système distribuant une pâte alimentaire spécial chien avec un piston. Figure 16
- Un distributeur avec une poire de réception inspiré du harnais Fido [Jackson et al., 2013] Figure 17



FIGURE 16. – Pâte appétente Stuff'n KONG



FIGURE 17. – Projet FIDO

Toutefois l'idée a été abandonnée. En effet les éducateurs de Handi'Chiens ont refusé en raison des problèmes dus à l'embarquement de nourriture sur le chien comme le risque de destruction du harnais par le chien ou d'autres animaux attirés par l'odeur. Donc dans le contexte de ce travail, il n'a pas été jugé intéressant de développer un distributeur de nourriture embarqué.

II.2.1.1.4 *La vue*

La vue est un moyen de communication important entre l'homme et le chien. Lorsqu'un chien de travail reçoit des commandes venant de son maître, celui-ci fait autant attention à la voix qu'au comportement de son maître. Un chien est notamment très sensible au pointage que ce soit avec la main de son maître ou par un accessoire comme un pointeur laser. Lorsque le chien est éloigné, cette information est perdue. Nous avons envisagé d'utiliser le pointage laser à distance pour diriger le chien. Cependant cela nécessite une connaissance précise de l'environnement du chien afin de le diriger comme par exemple l'utilisation de la vidéo. Or pour des raisons techniques, cette solution ainsi que l'utilisation du pointage laser ont été mises en perspective lors du passage du format harnais au format collier.

II.2.1.1.5 *L'odorat*

L'odorat est utilisé par les colliers à la citronnelle. Ces colliers permettent d'inhiber certains comportements des chiens, en effet la citronnelle est désagréable pour la plupart des chiens. Ils ont la même fonction que les colliers électriques, mais tous en étant bien moins dangereux et intrusifs. Dans la section II.2.4 nous avons rendu notre prototype interopérable avec un tel dispositif.

Les résultats de ces expérimentations en laboratoire sur des actionneurs qui agissent sur les sens du chien sont concluants. Il est alors intéressant de répondre à la question suivante : Comment un système peut-il capter de l'information provenant d'un chien ?

II.2.1.2 *Comment mesurer et percevoir l'activité du chien ?*

Une fois cette partie validée, nous nous sommes intéressés à la seconde question : Comment mesurer et percevoir l'activité du chien ? Afin de répondre à cette question, les trois informations suivantes ont été choisies : la localisation, l'activité, la reconnaissance d'aboiement.¹

II.2.1.2.1 *L'activité du chien*

Afin de pouvoir agir sur le chien le maître a besoin dans un premier temps de comprendre la situation de son chien éloigné. La première information intéressante à capter par le système est l'activité du chien.

POURQUOI DÉTECTER L'ACTIVITÉ Dans la communication homme-homme et homme-chien, une grande partie de la communication est non verbale et cela inclut des informations visuelles. Le maître regarde si le chien a bien effectué la commande qui lui a donné. Dans le cas où le chien est hors de vue, cette information est manquante. L'activité du chien fait partie des informations qui peuvent enrichir la communication

1. La transmission d'un flux vidéo provenant du chien a été envisagée. Cependant comme l'a montré les recherches de [Tran et al., 2008] et [Ferworn et al., 2006], le placement de la caméra est compliqué et peut également gêner le chien. De plus cette information n'était pas une priorité.

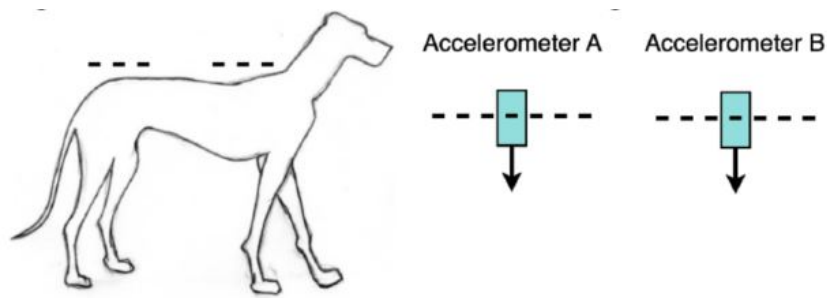


FIGURE 18. – Ribeiro et al. placement des accéléromètres.

à distance. La détection de l'activité du chien peut donner une information sur son niveau d'attention. Lorsque le maître transmet des commandes au chien, le retour sur l'activité permet de savoir si celui-ci a bien exécuté la commande. Un autre aspect envisagé grâce à la détection de l'activité est l'automatisation de l'envoi de commande. En effet combiné à d'autres informations comme la localisation, un système automatique pourra donner des commandes au chien et agir ensuite en conséquence en fonction de la réaction du chien sur le même principe utilisé par [Miller, 2010] avec le GPS. Sur le long terme, l'activité peut aussi apporter des informations sur l'état de santé du chien.

LES CONTRAINTES. La première contrainte est de ne pas gêner le chien dans ses mouvements. Elle est d'autant plus importante dans le cas de la détection de l'activité, en effet si le système mis en place gêne les mouvements du chien, les données relevées sont faussées et la détection ne peut se faire. Rappelons également qu'un système intrusif n'est pas envisageable. Ces contraintes limitent le placement et la taille du dispositif. Une autre contrainte est la rapidité du temps de traitement. La détection est utilisée dans la communication avec le chien, elle doit se faire avec un temps de latence raisonnable. Cette contrainte influe sur les capacités du système embarqué. Les données doivent : soit être traitées localement, ce qui nécessite une puissance de calcul embarquée, soit être envoyées et traitées au niveau du maître sur un système plus puissant, cela implique une forte utilisation de la bande passante du système de communication utilisé.

LES CHOIX EFFECTUÉS. Ribeiro et al. utilise 2 accéléromètres positionnés sur le dos du chien afin de détecter sa position (cf. Figure 18). Pour cette phase préliminaire, nous avons fait le choix d'utiliser un harnais conçu pour les chiens de l'association Handi'Chiens. Ce harnais ne trouble pas le déplacement du chien et les chiens de Handi'Chiens y sont habitués depuis leur plus jeune âge. La plateforme de capture est un smartphone positionné entre les omoplates. Le smartphone possède une centrale inertielle (IMU) composée d'un accéléromètre, d'un gyromètre et d'un magnétomètre 3 axes.

ANALYSE PRÉLIMINAIRE. Afin de déterminer les données utiles parmi ces neuf valeurs (3 capteurs 3 axes), nous avons effectué une première expérimentation chez



FIGURE 19. – Axes de l'IMU des smartphones

Handi'Chiens. Un labrador retriever mâle de 2 ans a participé à la prise de données, il venait juste de finir sa formation et il était remis à sa nouvelle propriétaire en situation de handicap. L'éducatrice du chien lui a demandé d'enchaîner les actions suivantes : marcher, courir, s'asseoir, se coucher. Le chien était équipé d'un harnais Handi'Chiens et deux smartphones ont été placés à l'intérieur au niveau des omoplates. Les deux smartphones possédaient une application permettant de sauvegarder les données des capteurs. Nous avons utilisé 2 smartphones de modèles différents (Galaxy S3 et Galaxy Note 1) afin de nous assurer de la fiabilité des données.

Les smartphones étaient positionnés avec l'axe X dirigé vers la droite du chien, l'axe Y vers la tête du chien et l'axe Z pointant vers le ciel comme le montre la Figure 19. Guidé par son éducatrice le chien a enchaîné des mouvements de marche et de course, ainsi que les postures assises et couchées. L'expérimentation a été filmée afin d'annoter les données avec les mouvements correspondants. L'Annexe B (page 136) présente l'ensemble des données relevées. Après une première analyse de ces données, nous avons conclu que l'information fournie par l'axe Z de l'accéléromètre et l'axe Z du gyromètre était suffisante afin de reconnaître les 4 situations recherchées.

La Table 5 montre les données sélectionnées. Sur les courbes l'axe x est le temps (0 à 3 secondes) et l'axe Y est la valeur du capteur. La périodicité des mouvements de la marche et de la course est nettement visible sur les axes choisis. Concernant les positions couchées et assises, il n'y a aucune périodicité dans les deux cas, cependant la valeur de l'axe Z de l'accéléromètre est plus faible dans la position assise que dans la position couchée. Cela vient du changement de l'orientation du smartphone. La gravité ne s'applique plus perpendiculairement à l'axe Z. Afin d'analyser ces données, nous avons choisi de filtrer les données par un filtre passe-bas, puis de faire une analyse fréquentielle à l'aide d'une FFT (Fast Fourier Transform) [Bracewell, 1965]. La fenêtre utilisée pour ces traitements est de 2 secondes. Cette fenêtre contient deux fois le motif de la marche afin de respecter la loi de Shannon [Shannon, 1949]. Ensuite, l'amplitude maximale et la fréquence correspondante sont extraites. Une cinquième valeur est calculée : la moyenne de l'axe Z de l'accéléromètre. Ensuite nous avons enregistré les données d'un second chien Calipso, afin de les comparer.

La Table 6 montre les fréquences et amplitudes moyennes de la course relevées sur les 2 chiens. Une différence notable est présente au niveau des fréquences. Cela

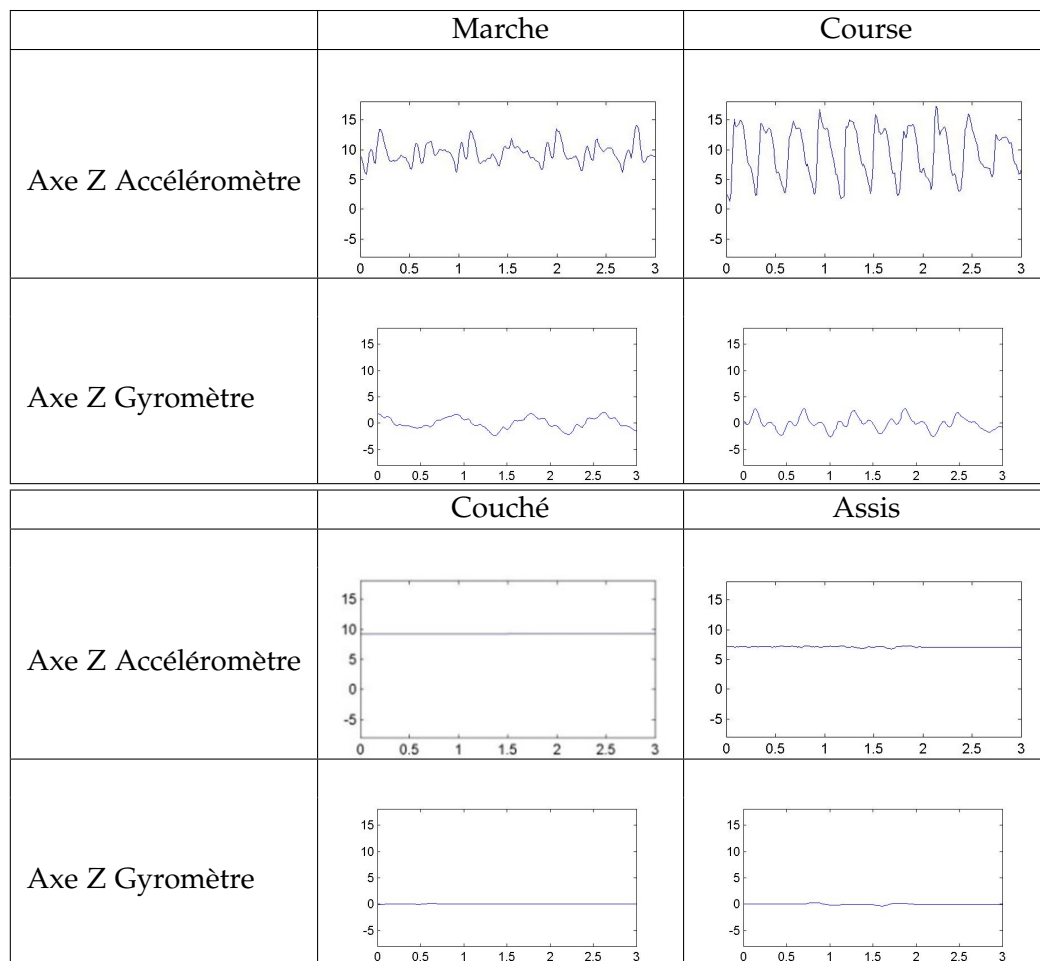


TABLE 5. – Données sélectionnées

	chien 1	chien 2
Fréquence maximale moyenne de l'accéléromètre	2.8035	2.8754
Amplitude maximale moyenne de l'accéléromètre	0.4983	0.6654
Fréquence maximum moyenne du gyromètre	1.5109	2.4624
Amplitude maximum moyenne du gyromètre	0.2585	0.2611

TABLE 6. – Fréquences et amplitudes moyennes de la course

confirme l'hypothèse de [Ribeiro et al., 2009] expliquant que les données peuvent varier fortement d'un chien à l'autre. Cela dépend des différences de morphologie entre les chiens, y compris entre des chiens d'une même race. Cela dépend aussi du caractère du chien, certains chiens ont des démarches plutôt dynamiques alors que d'autres ont des démarches un peu plus lourdes. Cette différence nous a été confirmée par les éducateurs de Handi'Chiens.

Suite à cette première analyse, nous avons développé un système permettant de détecter la posture du chien en temps réel (toutes les 2 secondes). Dû à la différence notable entre les chiens nous avons choisi d'utiliser une méthode d'apprentissage afin de détecter la posture du chien. Nous avons choisi la méthode des K plus proches voisins. La Figure 20 montre l'architecture globale du système que nous avons mis en place.

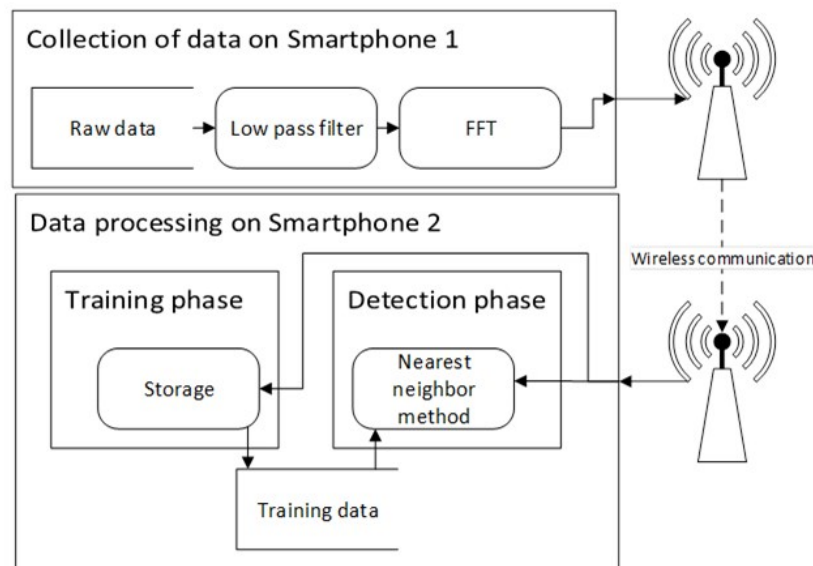


FIGURE 20. – Système de détection de postures

Un premier traitement est effectué localement par un premier smartphone sur le dos du chien. Toutes les 2 secondes, il envoie les 5 données précédemment évoquées à un second smartphone qui les utilise pour la calibration du système d'apprentissage puis pour la détection.

La phase de calibration sert à créer l'ensemble des données d'apprentissage. Le chien effectue les mouvements ou maintient les postures demandées pendant 20 seconds. Ceci nous amène à 10 ensembles de données pour chaque activité. Ces données sont échelonnées et placées dans un espace à 5 dimensions. Ensuite pour la détection les données reçues du premier smartphone sont elles aussi échelonnées. L'activité est déterminée en choisissant le voisin le plus proche. Celui-ci est trouvé en utilisant la distance de Minkowski (généralisation de la distance euclidienne)

Activité	Correct	Incorrect	% de détection
Marche	55	5	91%
Course	50	10	83%
Assis	52	8	86%
Couché	54	15	75%

TABLE 7. – Résultats de la méthode de détection de l'activité

Nous avons ensuite testé cette méthode durant 8 minutes où le chien alternait les postures, soit 2 minutes ou 60 échantillons par posture. La Table 7 présente les résultats obtenus.

Les résultats sont satisfaisants excepté pour la posture couchée. Après analyse, nous avons découvert que lorsque le chien était couché, mais relevait la tête pour regarder son maître, le smartphone s'incline légèrement. Ceci entraînait la détection de la posture assise au lieu de la posture couchée. Cette première étude a notamment révélé que la détection de la posture couchée est complexe. En effet un chien a plusieurs postures couchées. Il peut être sur le ventre tête en bas ou tête en haut, sur un côté ou l'autre. Ce point a été confirmé par la suite par l'article de [Valentin, 2014].

Après une discussion avec les éducateurs de Handi'Chiens, il s'est avéré que la détection de la position couchée n'est pas primordiale. Ce qui les intéresse particulièrement est de savoir si le chien est statique, s'il marche ou s'il court. Cette information peut être complétée par la récupération de la localisation du chien.

II.2.1.2.2 La localisation

Des produits commerciaux permettent de localiser des chiens. Deux types de chiens sont visés par ces produits : les chiens de chasse et les chiens de compagnie. Les systèmes de localisation de type GPS pour les chiens de chasse servent à connaître leur position notamment lorsqu'ils sont à la poursuite d'un gibier. Comme l'explique [Weilenmann et al., 2011] dans son enquête, les appareils qu'utilisent les chasseurs conservent les déplacements du chien lors d'une partie de chasse. Un chasseur peut repérer plus rapidement si le chien suit la piste d'un gibier déjà chassé et dans ce cas indiquer à son chien de changer de direction. Dans l'enquête effectuée par [Paldanius et al., 2011] les chasseurs ont indiqué qu'ils s'autorisaient à amener des chiens moins entraînés et moins sûrs pour le rappel en fin de chasse, car ils pouvaient alors les retrouver grâce au GPS. Les systèmes qu'ils utilisent sont basés sur des technologies de type radio très hautes fréquences. Ces systèmes ont l'avantage de pouvoir s'utiliser n'importe où, notamment en forêt. Leurs inconvénients sont qu'ils sont chers et encombrants. Certains systèmes utilisent un système 3G ou GSM, mais il nécessite un abonnement. De plus, la couverture téléphonique nécessaire n'est pas garantie partout. Les chasseurs délaissent ces solutions [Paldanius et al., 2011].

Les systèmes de localisation 3G sont plus utilisés par les particuliers. Ils permettent de connaître à tout moment la localisation du chien. Ils sont utilisés que lorsque celui-ci a fui ou s'est perdu. Cependant, comme expliqué dans la section I.4.2 les réseaux

cellulaires consomment beaucoup d'énergie. En mode recherche active l'autonomie de ces produits ne sont que de quelques heures.

La table Table 8 présente des dispositifs de localisation canins actuellement en vente.

Produit	Année	Prix	Abonnement	Remarques
Pettraker	2013	90\$	8\$ (GSM)	
Wékiki	2014	180€	5€(GSM)	Produit français
Kippy	2014	180€	2.5€(GSM)	
Tractive	2014	149€	5€(GSM)	
GPSMAP 60Cx	2010	579€	0€(VHF)	Spécifique aux besoins des chasseurs
Astro 320	2013	730€	0€(VHF)	Spécifique aux besoins des chasseurs

TABLE 8. – Systèmes commerciaux canins

La localisation est essentielle dans notre scénario où le maître doit récupérer son chien si celui-ci s'est trop éloigné. Si le maître l'a perdu de vue, il peut savoir où son chien est, et aller le chercher. Si le maître lui demande de revenir à distance, une localisation en temps réel peut lui permettre de savoir si le chien exécute effectivement la commande ou s'il est bien sûr le chemin du retour. Elle remplace une partie des informations visuelles que le maître perd lorsque le chien s'est trop éloigné. Comme l'a expliqué [Paldanius et al., 2011] le simple fait que le maître peut savoir qu'il peut connaître à tout moment la position de son chien, lui enlève la crainte de le perdre. Enlever cette crainte est un de nos objectifs afin que le maître accepte plus facilement de libérer son chien pour qu'il puisse se défouler.

Un autre intérêt sur le long terme est de pouvoir enregistrer les déplacements et connaître ses habitudes pour mieux comprendre certains comportements. S'il a tendance à fuir toujours aux mêmes endroits, cela peut permettre de connaître ce qui l'attire. Il est aussi possible de faire un système d'alerte comme sur les systèmes commerciaux existants, mais ciblés à la personne en situation de handicap. Par exemple si le chien s'éloigne de plus de 100 mètres de son maître, le maître est averti et peut le rappeler avant de le perdre de vue.

À l'intérieur de nos prototypes, nous avons choisi d'utiliser les modules commerciaux GPS avec antenne intégrée (GTPA013 de Adafruit et CAM-M8Q de Ublox). Ils n'ont pas donné lieu à des tests, car leur fiabilité est reconnue.

II.2.1.2.3 La voix du chien

La première information provenant du chien qu'il serait intéressant de connaître est la détection de l'aboiement. Les chiens de Handi'Chiens ont tous appris à aboyer sur demande. Le but premier de cette commande est de permettre au maître de faire aboyer son chien en cas de problème afin de faire venir une tierce personne. L'exemple le plus commun est si la personne est tombée par terre et ne peut plus se relever. Nous avons eu l'idée d'intégrer un système de détection d'aboiement afin d'étendre

ce système d'alerte, par exemple si le maître a un problème, mais que personne n'est aux alentours le système pourrait détecter l'aboïement et contacter via téléphonie une personne responsable.

Comme nous l'avons vu dans la section section I.1.2, l'aboïement du chien véhicule de l'information. Cependant comme le montre les résultats mitigés de [Yin et al., 2004], 60 à 80 % des aboïements correctement classifiés selon leurs contextes, décrypter les aboïements est une tâche complexe.

La détection de l'aboïement reste une perspective de recherche intéressante surtout dans le cas des chiens de Handi'Chiens. En effet, nous pouvons nous poser la question : quelles sont les caractéristiques d'un aboïement commandé ? Se rapproche-t-il plus d'un aboïement en contexte de jeux ? Après discussions avec les éducateurs de Handi'Chiens et l'observation de plusieurs chiens, les réponses à la commande "Aboie" diffèrent selon les chiens. Certains chiens doivent être "chauffés", il faut les solliciter plusieurs fois et ils vont commencer par de petits aboïements peu audibles avant de monter en puissance. Certains vont faire un ou deux aboïements brefs alors que d'autres vont faire plusieurs aboïements répétés sur un temps plus long.

L'aboïement est intéressant, c'est pourquoi notre dernier prototype (cf. section II.2.5) dispose d'un microphone. Cependant faute de temps, le développement, afin de traiter cette information, n'a pas pu être effectué.

II.2.1.3 Synthèse

Cet ensemble de tests en laboratoire ont permis de démontrer que :

- Un chien peut obéir à une voix enregistrée sans la présence de son maître.
- Il est possible de détecter l'activité du chien
- La position du chien peut être obtenue par un GPS
- Un chien réagit aux vibrations, il convient donc de voir si cette modalité peut être utilisée comme récompense.
- L'odorat peut être utilisé pour envoyer des messages négatifs aux chiens.
- La détection de l'aboïement est intéressante.

II.2.2 PREMIÈRE INTÉGRATION D'UN PROTOTYPE COMPLET : UN HARNAIS

Après ces tests sur les actionneurs et les capteurs, nous avons réalisé un harnais combinant l'ensemble des éléments testés dans ces phases préliminaires.

Le premier prototype est sous la forme d'un harnais pour les raisons suivantes :

- La majorité des dispositifs présentés dans la littérature sont des harnais [Savage et al., 2000, Ribeiro et al., 2008, Tran et al., 2008, Miller, 2010]
- Les chiens de Handi'Chiens sont habitués à porter des harnais (cf. Figure 21) ou au moins une cape (cf. Figure 22) leur permettant d'être reconnus comme chiens d'assistance.



FIGURE 21. – Harnais Handi'Chiens

II.2.2.1 Réalisation

Le harnais développé combine les différents éléments testés :

- Les commandes vocales
- La détection de l'activité
- La localisation
- Les vibrations

La Figure 25a est un schéma représentant les différents éléments du harnais et leurs interconnexions. Un smartphone joue le rôle d'ordinateur embarqué. Il dispose d'un GPS pour la localisation et d'une centrale inertielle (IMU) pour la détection de l'activité. Deux haut-parleurs sont connectés au smartphone et positionnés de part et d'autre du harnais au plus près des oreilles du chien. Le harnais dispose d'une ceinture de 8 vibrations commandées par une carte microcontrôleur de type Arduino connectée au smartphone en Bluetooth. La carte et les vibreurs sont alimentés par deux batteries afin d'équilibrer le poids des différents éléments. Enfin le smartphone est connecté avec le smartphone du maître par Wifi-direct. Le Wifi-direct est une version du protocole Wifi ne nécessitant pas de routeur. Les smartphones sont directement connectés entre eux. À ce stade cette technologie semble adaptée, car elle a une portée théorique de plusieurs dizaines de mètres.

Le harnais fourni par Handi'Chiens n'étant pas adapté pour contenir l'ensemble des éléments souhaités, un harnais sur mesure a été conçu. Un gros travail d'équilibrage est mené afin de répartir les charges et empêcher le harnais de tourner autour du buste du chien. Ce travail a été nécessaire pour ne pas gêner le chien dans ses déplacements et pour garder les capteurs, IMU du smartphone en particulier, et les vibreurs bien positionnés. La Figure 26 montre le golden retriever de 2 ans utilisée comme modèle pour la confection du harnais.

Afin de tester une nouvelle forme d'interaction avec le chien, une seconde version de harnais est tentée en remplaçant la ceinture de vibration par un système de serrage



FIGURE 22. – Cape Handi'Chiens

par sangle. La Figure 25b présente le schéma de la version avec la sangle. En plus de la carte Arduino, une carte permettant de contrôler le moteur est rajoutée. Le principe est d'utiliser un moteur afin de serrer légèrement la sangle entourant l'abdomen. Le but est de récupérer l'attention du chien si celui-ci est distrait par un quelconque élément de son environnement. La puissance du moteur a été calculée à l'Université d'Angers par Philippe Lucidarme, afin qu'il puisse serrer le chien suffisamment sans toutefois lui faire aucun mal (cf. Annexe C (page 151)).

Cependant cette version est abandonnée due à un équilibrage des masses trop compliqué.

II.2.2.2 Tests avec les éducateurs de Handi'Chiens Alençon

Afin de tester le harnais, le prototype est présenté à deux éducateurs du centre de Handi'Chiens à Alençon avec qui nous travaillons. Le but est d'intégrer l'utilisation du harnais dans leurs séances d'entraînement afin de répondre aux questions suivantes :

- Est-ce que les chiens vont répondre aux commandes du harnais ?
- Si oui, au bout de combien de temps ?
- Avec quelle fiabilité ?

Chacune des fonctionnalités est présentée. Ils ont confirmé que les fonctionnalités sont très intéressantes pour leurs bénéficiaires, cependant le format harnais ne leur convient pas. Ils ont expliqué que les chiens sont effectivement habitués à porter un harnais, mais peu de leurs bénéficiaires l'utilisent effectivement dû à leurs difficultés à le mettre en place. L'utilisation de notre harnais leur semble également trop compliquée pour la phase d'entraînement. En effet, la pose du harnais est trop compliquée pour effectuer des séances qui sont de l'ordre de 10 à 15 minutes par chien. De plus,

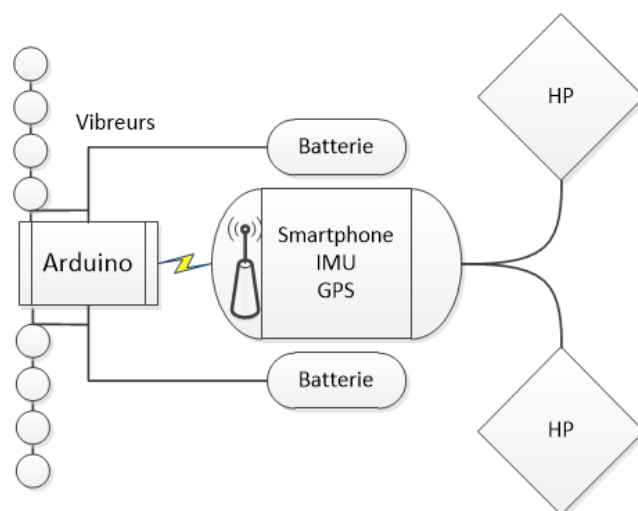


FIGURE 23. – Schéma du prototype de harnais avec vibration

les éducateurs avaient peur que le harnais ne contraigne les mouvements du chien malgré l'attention portée sur cette contrainte de gêne potentielle.

Ils ont alors proposé d'avoir les mêmes fonctionnalités dans un collier. Tous les bénéficiaires sont capables de mettre un collier. En effet, il leur est possible de simplement tendre le collier au chien et de lui donner la commande "Tête". À ce moment, le chien passe de lui-même la tête dans le collier.

Rappelons que le projet ANR Cochise a pour but de créer un dispositif accessible afin d'aider les bénéficiaires de Handi'Chiens à communiquer avec leur chien. Or le format harnais n'est accessible qu'à peu de personnes. Pour cette raison, le choix est pris de ne plus travailler sur un harnais et de se concentrer sur une version collier. Afin de ne pas perdre de temps, aucune expérimentation longue chez Handi'Chiens n'est montée avec le prototype harnais.

II.2.2.3 Méthodologie

Ce premier contact a cependant permis de définir la méthodologie utilisée pour les futures expérimentations. Chaque éducateur choisit 2 chiens avec lesquels ils vont travailler. Les expérimentations se feront sur plusieurs séances de travail. Une séance de travail dure environ dix minutes selon le niveau d'attention du chien. Au fil des séances les chiens seront entraînés à répondre aux commandes de base venant du collier et non plus à la voix directe de l'éducateur. Les commandes de base : "Assis", "Couché", "Abois" et "Viens" sont les premières commandes que le chien apprend. Elles permettent également aux éducateurs d'échauffer le chien et de lui faire comprendre qu'il est en séance de travail. Dans un premier temps, la commande "viens" sera demandée à courte distance puis la distance sera augmentée progressivement selon le taux de réponse du chien.

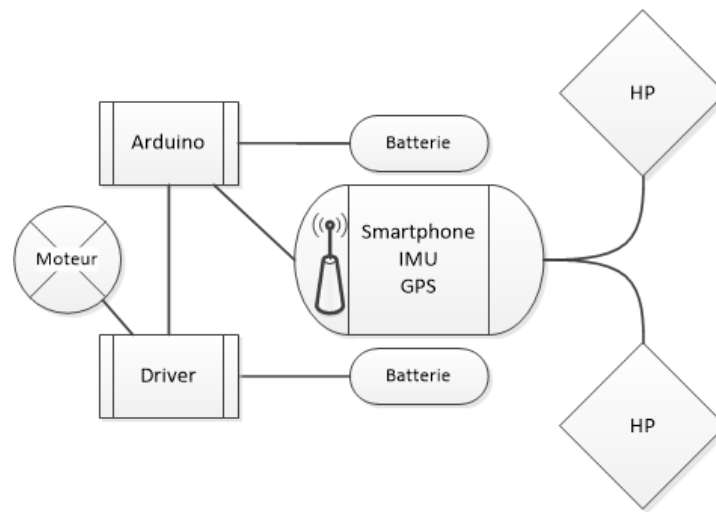


FIGURE 24. – Schéma du prototype de harnais avec sangle

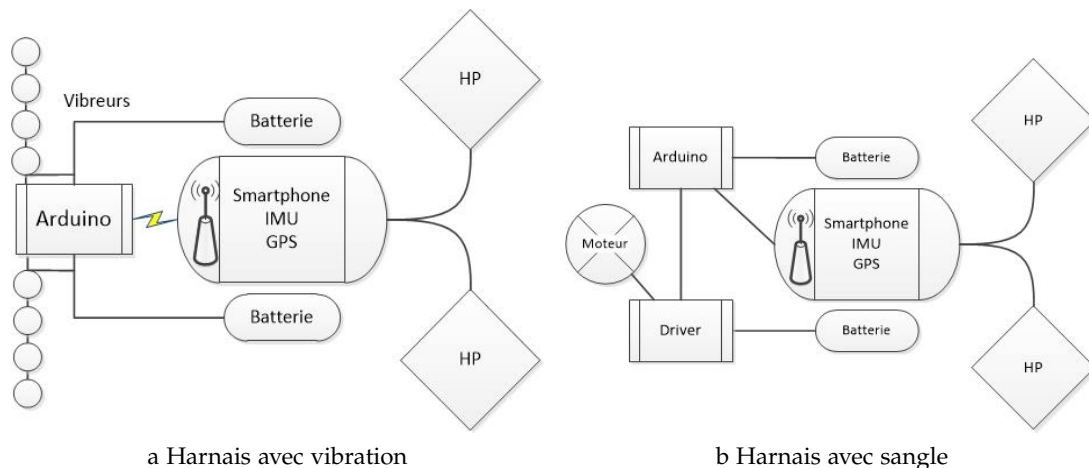


FIGURE 25. – Schéma des prototypes de harnais

II.2.3 PROTOTYPE DE LABORATOIRE : COLLIER VERSION 1

Afin de prendre en compte au plus tôt les remarques des premiers utilisateurs du harnais, les éducateurs, le remodelage du dispositif en collier est effectué en deux étapes. Le passage du harnais au collier nécessite un important travail d'intégration. La première étape est la création d'un collier/harnais hybride afin de tester le placement des haut-parleurs pour les chiens et avoir un premier retour sur les besoins des éducateurs.

La seconde étape est la réalisation d'un collier entièrement intégré avec lequel une expérimentation sur le moyen terme est effectuée dans le centre de Handi'Chiens d'Alençon.



FIGURE 26. – Equilibrage du harnais sur un golden retriever

II.2.3.1 *Prototype hybride : collier/harnais*

Le collier hybride est basé sur la ceinture de vibration vue précédemment. La Figure 27 présente la composition du collier hybride. Les haut-parleurs du harnais sont intégrés dans le collier. Le smartphone, la carte Arduino et la batterie sont trop importants pour être mis dans le collier, ils sont installés dans une trousse de protection qui peut être logée dans une poche du harnais Handi'Chiens.



FIGURE 27. – Composant du collier hybride



FIGURE 28. – Collier hybride sur golden retriever avec son éducateur

Le collier est testé au centre de formation de Handi'Chiens à Alençon. Le collier est présenté à un des éducateurs Handi'Chiens en lui expliquant que la partie trousse est menée à disparaître. L'éducateur confirme sa volonté d'avoir un collier. L'expérimentation a lieu dans une salle de formation de Handi'Chiens. Cette salle est suffisamment grande pour que le chien s'y déplace librement. Le chien et l'éducateur restent dans la même pièce contrairement à l'étude préliminaire où le maître et le chien étaient séparés. Pour l'expérimentation, l'éducateur choisit un chien golden retriever mâle (Geny) de deux ans en fin de formation. Ce chien est donc particulièrement réceptif aux commandes vocales de son éducateur. L'expérimentation s'est déroulée de la manière suivante :

- L'éducateur enregistre les commandes de bases : "Assis", "Couché", "Aboie", la récompense vocale "C'est bien" et le "Non". Une commande est toujours précédée du nom du chien afin d'attirer son attention. Les commandes sont donc "Geny Assis", "Geny Couché", "Geny Aboie".
- Le collier est placé sur le chien. La Figure 28 montre le collier installé sur Geny ainsi que l'éducateur qui pilote le collier avec le smartphone à la main.
- L'éducateur déclenche des commandes "Assis".
- Le chien se déplace dans la salle et ne semble pas réceptif. L'éducateur fait la remarque qu'il est peut-être perturbé par les aboiements des chiens à l'extérieur.
- L'éducateur met le chien en laisse afin qu'il comprenne qu'il est en séance de travail.

- À la première commande "Assis" le chien se fixe. À la seconde commande "Assis" le chien exécute la commande et s'assoit. L'éducateur déclenche la récompense vocale "C'est bien".
- L'éducateur déclenche ensuite des commandes "Couché" et des commandes "Abois" auxquelles le chien répond après deux voire trois commandes.

Cette première expérimentation révèle les points suivants :

- Le format collier est adopté sans difficulté par l'éducateur.
- Le chien choisi s'habitue et répond rapidement aux commandes demandées.
- L'éducateur a besoin d'être réactif sur l'envoi des commandes et des récompenses lorsqu'il forme le chien. Cette réactivité est moins nécessaire aux bénéficiaires de Handi'Chiens grâce à cette formation rigoureuse.
- Une interface spécifique aux besoins des éducateurs est donc nécessaire pour la suite des expérimentations.
- En pratique, la technologie Wifi-Direct se révèle trop contraignante en termes de portée, entre cinq et dix mètres en salle.

II.2.3.2 *Prototype de collier*

La seconde étape de cette phase est la réalisation d'un collier contenant l'ensemble des fonctionnalités du harnais. Le but est de trouver les technologies permettant de réaliser un collier intégré remplissant l'ensemble des fonctionnalités souhaitées.

ABANDON DU SMARTPHONE EMBARQUÉ Le premier choix important est l'abandon de l'utilisation du smartphone comme ordinateur embarqué. La première raison est qu'un smartphone n'a pas de système de communication convenable. Le Bluetooth ou le Wifi-Direct n'ont pas une portée suffisante. La communication 3G n'est pas non plus retenue pour les raisons suivantes :

- Nécessité d'une couverture réseau.
- Nécessité d'un abonnement donc d'un coût supplémentaire pour la personne en situation de handicap.
- Nécessité d'un serveur afin de communiquer des données entre deux smartphones.
- Une latence variable.
- Une consommation électrique élevée.

La seconde raison de cet abandon est l'inutilité de l'écran du smartphone. Or il est le plus gros consommateur d'énergie. Il est possible de faire tourner une application en tâche de fond en ayant l'écran éteint, cependant le système d'exploitation peut alors mettre cette application en pause pour une quelconque raison et la redémarrer plus tard. La réactivité de l'application n'est donc plus garantie. Ce changement a également plusieurs conséquences. Le smartphone embarquait un IMU, un GPS et un système audio. Des composants spécifiques sont choisis afin de remplir ces fonctionnalités : un module IMU neuf degrés de liberté, un module GPS avec antenne intégré et un mini module mp3 combiné avec un mini-amplificateur audio.

CHOIX DU LIEN RADIO Le second choix effectué est celui de la liaison radio. Afin de répondre aux exigences de taille et de portée un module récepteur/émetteur utilisant la bande de fréquence standard 433MHz est choisie. Ce module a une portée théorique de 300 mètres. Un smartphone n'a pas la possibilité de communiquer directement avec ce type de module. Pour cette raison, un boîtier interface est créé. La liaison collier/boîtier se fait par deux modules de 433MHz communiquant ensemble. La liaison boîtier/smartphone utilisateur se fait par une liaison Bluetooth utilisant le protocole Serial Port Protocol (SPP) émulant une liaison série. Le boîtier interface est de petite taille ce qui ne contraint pas la mobilité de l'utilisateur. La Figure 29 schématise le système.

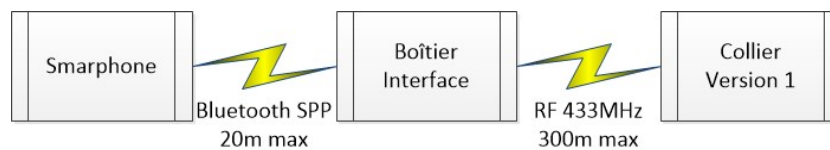


FIGURE 29. – Schéma de connexion du collier

CHOIX DES HAUT-PARLEURS Le troisième choix technologique est celui des haut-parleurs. Afin d'éviter toute détérioration des haut-parleurs, il est nécessaire de les inclure à l'intérieur du collier. Cependant, si des haut-parleurs standards sont recouverts, la puissance sonore est fortement réduite. À la place de haut-parleurs standards, des excitateurs audio sont utilisés (cf. Figure 30). Le principe d'un excitateur audio est qu'il n'a pas de membrane, mais fait vibrer la surface sur laquelle il est fixé et produit ainsi le son. Dans le cas du collier les excitateurs audio sont fixés sur la couche de cuir extérieur qui produit le son. Cette solution est intéressante par son faible encombrement, de plus la flexibilité du cuir est gardée comparée à un haut-parleur standard.



FIGURE 30. – Excitateur audio

RÉALISATION COMPLÈTE Le collier est composé des éléments suivants :

- House en cuir ouvrable par fermeture éclair.
- Système de fermeture par anneau coulissant.

- Une batterie Li-ion pour l'alimentation. Elle embarque un système de protection évitant tout problème de court-circuit ou décharge profonde.
- Une carte faite sur mesure afin de réguler et contrôler l'alimentation. Le microcontrôleur et l'amplificateur audio sont alimentés en 5 volts les autres éléments en 3.3V.
- Un module radio haute fréquence 433 MHz
- Une centrale inertielle (IMU) neuf degrés de liberté composée d'un accéléromètre 3 axes, d'un gyromètre 3 axes et un compas 3 axes.
- Un module audio combiné avec un amplificateur audio 3W.
- Un module GPS avec antenne céramique intégrée.
- Une carte mémoire pour stocker les logs et pour effectuer des relevés de données de l'IMU.
- Six vibreurs pilotés en modulation de largeur d'impulsions (PWM en anglais) par le microcontrôleur
- Une carte de développement embarquant un microcontrôleur CortexM3 pilotant l'ensemble des composants.

La Figure 31 présente l'interconnexion entre les différents éléments et les différents protocoles de communication utilisés. Concernant l'alimentation du collier, le microcontrôleur connaît la tension de la batterie et envoie le pourcentage de charge à l'utilisateur et celui-ci peut également couper l'alimentation à tout moment.

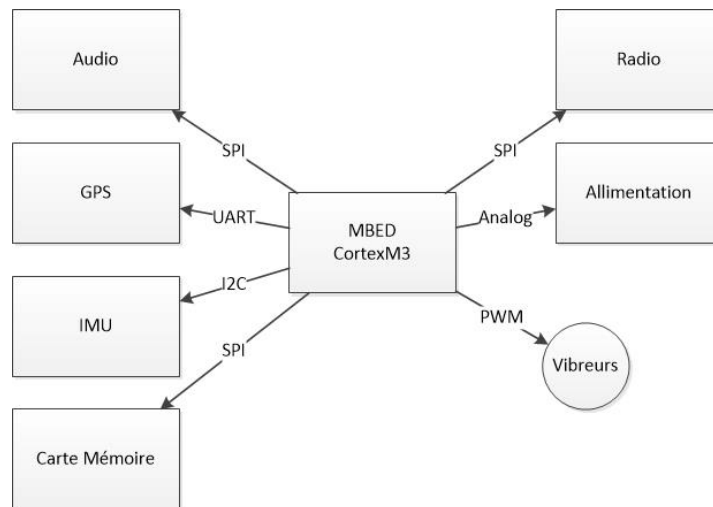


FIGURE 31. – Schéma de communication du collier de laboratoire

La Figure 32 présente le prototype de collier ouvert avec l'ensemble des éléments le composant. Les différents modules électroniques sont connectés sur des circuits imprimés faits sur mesure afin de les interconnecter par des nappes de câbles.

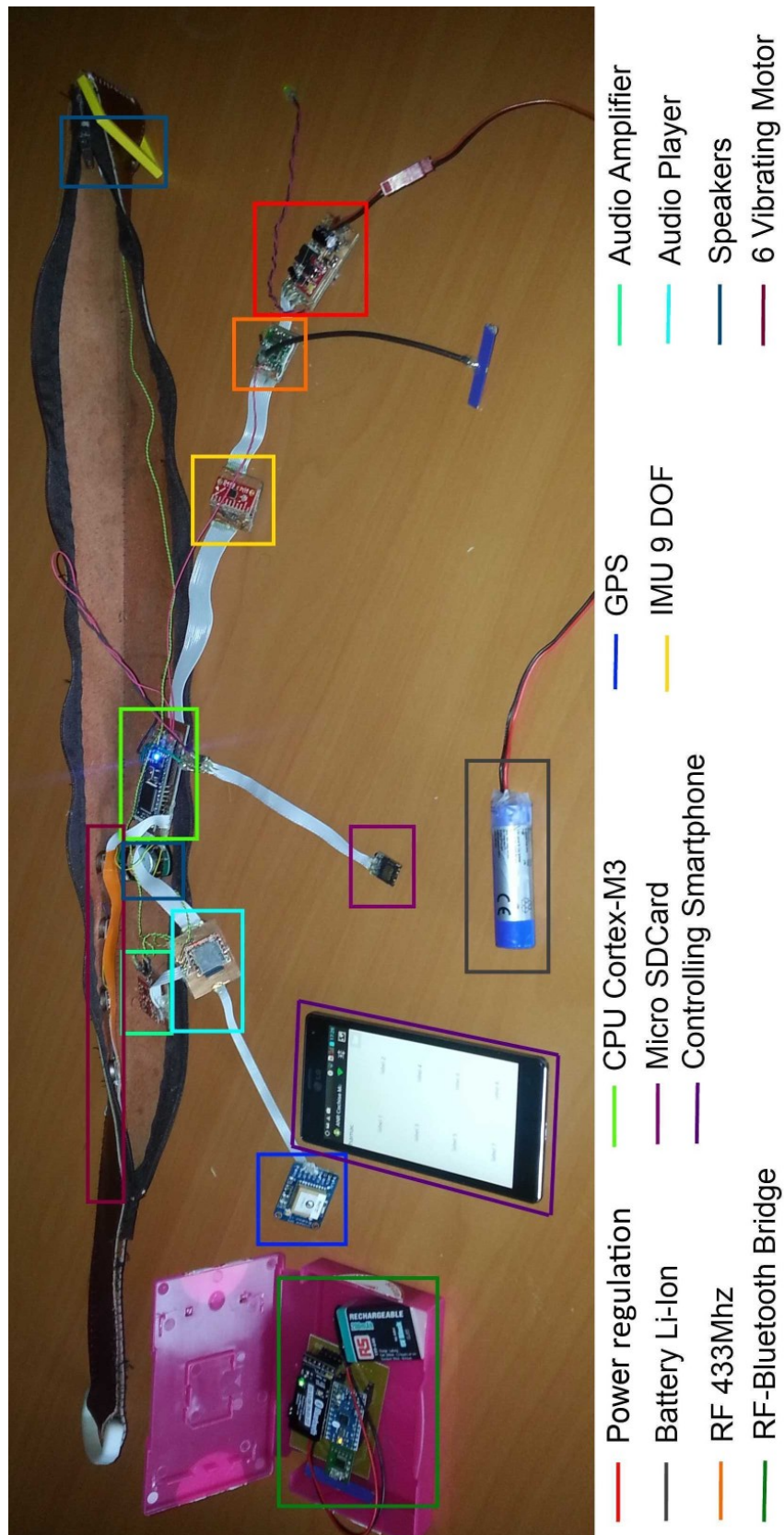


FIGURE 32. – Prototypo de collier

L'Algorithme II.2.1 présente une version simplifiée du programme embarqué dans le collier. Les fonctionnalités implémentées sont les suivantes : l'émission d'un son préenregistré, la vibration d'un ou plusieurs vibreurs, l'acquisition de l'activité et de la localisation du chien. Le langage utilisé est le C++. Pour chaque module électronique, une classe lui correspond afin de le piloter. La classe CommandParser prend en paramètre un objet de type RFComm correspondant au module radio. Cette classe gère le protocole utilisé dans la communication. Le protocole, de niveau application, utilisé est simple et sous format texte.

- Messages reçus :
 - STOP : arrêt du collier
 - ORDER(AUDIO(X)VIBRATION(Y))ACK(Z) : demande de l'exécution de la commande audio d'identifiant X avec en parallèle l'exécution du pattern de vibration d'identifiant Y. Le tout suivi d'une demande d'accusé de réception portant le numéro Z.
- Messages envoyés :
 - ORDERACK(X) : réponse à l'accusé de réception portant le numéro Z.
 - LOC(X,Y) : envoi de la localisation avec une longitude de X et de latitude Y
 - ACTIVITY(X) : envoi de l'activité ou posture d'identifiant X

Dans la boucle principale du programme si la batterie atteint une valeur critique alors le collier est éteint. Ensuite la priorité est donnée aux commandes reçues. Si une commande est reçue, elle est exécutée. Ensuite la localisation est envoyée toutes les 5 secondes et l'activité toutes les 2 secondes à l'interface utilisateur.

Algorithme II.2.1 – Programme sur le collier

```
int main(){
    RFComm rf;ActivityManager am;Audio audio;GPSManager
    ↪ gpsmanager;Vibration vibration;AlimBatt ab;
    ↪ CommandParser cmdparser(&rf);
    audio.init();rf.init();am.init();
    Timer timeram;Timer timergps;
    timeram.start();timergps.start();
    bool mainloop =true;
    while(mainloop) {
        if(ab.checkBatt()) {
            mainloop=false;break;
        }
        if(rf.isConnected()) {
            if(cmdparser.asCommand()) {
                switch(cmdparser.getCommandType()) {
                    case Cmd_Action :
                        if(cmdparser.asAudio()) {
                            somo.play(cmdparser.getIDAudio()
                            ↪ );
                        }
                        if(cmdparser.asVibration()) {
                            vibration.play(cmdparser.
                            ↪ getIDVibration());
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```



```

        break;
    case Cmd_Stop :
        mainloop=false;
        break;
    }
}
else{
    if(timergps.read()>5) { //Envoie des
        ↪ coordonnees gps toutes les 5 secondes
        timergps.reset();
        if(gpsmanager.getGPSData())
            cmdparser.sendLocalisation(
                ↪ gpsmanager.getLatitude(),
                ↪ gpsmanager.getLongitude());
        }
    if(timeram.read()>2) { //Envoie de l'
        ↪ activite toutes les 2 secondes
        timeram.reset();
        DogActivity act = am.getActivity();
        if(act != DA_None) cmdparser.
            ↪ sendActivity(act);
        }
    }
}
}
ab.collarOff();
}

```

II.2.3.3 Interface éducateur

L'utilisateur final du collier côté humain est un bénéficiaire de Handi'Chiens en situation de handicap. Ces personnes ont des besoins particuliers. Cependant à cette étape du projet, afin de tester le collier, les utilisateurs humains sont les éducateurs Handi'Chiens. Leurs besoins sont différents de ceux des bénéficiaires. L'application possède un système de session. En effet la principale différence est qu'un éducateur forme entre 5 et 7 chiens en même temps. Au démarrage de l'application, l'éducateur choisit le chien avec qui il souhaite travailler (cf. Figure 33a). Le collier contient donc les commandes de tous les chiens choisis pour l'expérimentation et c'est l'application qui envoie la bonne commande selon la session. L'éducateur peut également changer de session afin d'enchaîner sur l'entraînement d'un autre chien.

Une interface avec la carte de localisation est disponible (cf. Figure 33b) cependant à la demande des éducateurs afin de faciliter leur réactivité lors des entraînements, une seconde interface plus simpliste est privilégiée (cf. Figure 33c).

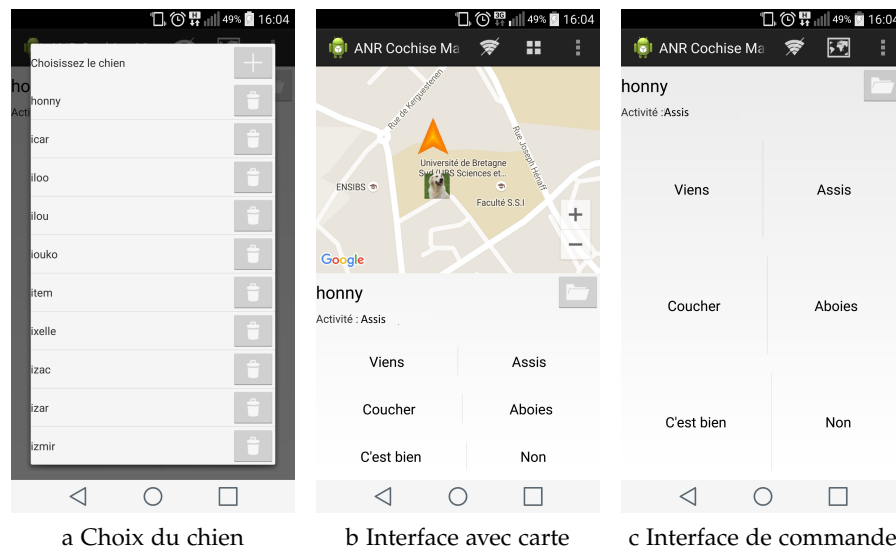


FIGURE 33. – Interface éducateur

II.2.3.4 Expérimentations et résultats

Les expérimentations se sont déroulées sur 5 séances réparties sur 3 mois. L'expérimentation principale est l'apprentissage des commandes de base avec le collier. À partir de la troisième séance, une expérimentation annexe est effectuée visant à connaître le comportement des chiens lorsque le maître n'est pas visible.

Expérimentation d'apprentissage et résultats

SÉANCE 1 Les éducateurs choisissent les chiens avec qui ils vont travailler :

- Hèka un labrador retriever femelle
- Hapolo un golden retriever mâle
- Homles un golden retriever mâle
- Helios un labrador retriever mâle

Ils sont tous au début de leur formation dans le centre Handi'Chiens. Leur âge varie entre un an et demi et deux ans. Les éducateurs enregistrent les commandes de leurs chiens. L'expérimentation se déroule dans la salle d'entraînement de Handi'Chiens. Les deux éducateurs et "moi-même" sommes présents dans la salle. Les quatre chiens passent tour à tour et les commandes leur sont demandées grâce au collier.

Hèka est agité et n'arrive pas à se poser, elle n'est pas réceptive. Les trois autres chiens sont réceptifs aux commandes "Viens" "Assis" "Couché" après uniquement deux à trois essais. La commande "Aboie" est beaucoup plus difficile, il est nécessaire de les motiver par la voix et par un geste de la main.

À la fin de cette séance, deux commandes sont rajoutées à l'interface : la commande "Debout" permettant de demander au chien de se relever après une commande "Assis" ou "Couché" et une seconde commande "C'est bien". La première commande

"C'est bien -" avec intonation basse est utilisée après les commandes "Assis" "Couché" "Debout". La seconde commande "C'est bien +" avec une intonation haute est utilisée après les commandes "Viens" et "Aboie".

SÉANCE 2 Dans un premier temps, les chiens sont travaillés en salle. Ils sont tous réceptifs aux commandes du collier. La commande "Aboie" est toujours difficile.

Dans un deuxième temps les chiens sont travaillés en extérieur principalement avec la commande du rappel "Viens". Les chiens finissent par "saturer" et ne plus être attentifs après quelques minutes. Un point soulevé lors de cette séance en extérieur est la provenance du son. Lors de l'apprentissage du chien, les commandes proviennent de son maître. Avec le prototype, le son provient du collier. Pour les commandes impliquant la position du maître, la provenance du son est aussi importante que le son lui-même. La commande "Viens" signifie "Viens vers moi, suis ma voix". Le chien repère son maître par la provenance du son. Rappelons que les pavillons des oreilles du chien sont amovibles afin de localiser plus facilement l'origine d'un son. Le visuel joue aussi une part importante, mais uniquement une fois que l'attention du chien est captée, ce qui se fait souvent par la voix du maître.

Afin de donner une direction aux chiens, le collier et le smartphone de l'éducateur émettent simultanément la commande "Viens". De cette manière, l'éducateur n'utilise jamais sa propre voix lors des séances.

SÉANCE 3 La séance est faite en salle. Excepté Hèka qui a de nouveau du mal à se calmer, les trois chiens exécutent les commandes "Assis" "Couché" "Debout" "Viens" sans difficulté.

SÉANCE 4 Hèka est plus calme que d'habitude et exécute les commandes "Assis" "Couché" "Debout" "Viens" sans difficulté. Durant la partie en extérieur Hèka est également réceptif aux différentes commandes. Le centre de Handi'Chiens d'Alençon se trouve dans l'enceinte d'un lycée. Durant cette séance Hèka a été attirée par un groupe d'élèves. Il semblerait que Hèka a plus réagi aux commandes du collier "Viens" et "Non" provenant du collier qu'aux commandes vocales de son éducatrice. Cette hypothèse n'a cependant pas pu être confirmée.

Happolo est très réceptif aux quatre commandes. Il arrive également à répondre à la commande "Aboie". En extérieur, il reste réceptif malgré plusieurs stimuli perturbateurs : passage de personnes, de voitures et aboiements des chiens dans le parc adjacent. Durant cette séance Holmes est très perturbé par un bénéficiaire de Handi'Chiens, chez qui il est resté quelques jours pour un renouvellement. Holmes s'est fixé à cette personne et il est devenu son nouveau chien d'assistance. Helios répond aux quatre commandes en salles, mais le travail en extérieur a été perturbé par des problèmes techniques venant du collier.

À la fin de cette séance, les vibrations ont été testées sur les chiens. Ils ont tous réagi aux vibrations sans trop paniquer. Ce test a révélé que les vibrations ont peu de chance de jouer un rôle de récompense. Cependant, elles peuvent être efficaces pour sanctionner (un "Non" renforcé) ou reprendre l'attention du chien.

SÉANCE 5 Durant cette séance en extérieur Helios est moins réceptif au rappel, mais les vibreurs et la commande "Non" permettent de regagner son attention. Les autres chiens sont réceptifs à l'ensemble des commandes, "Abois" y compris. Durant cette séance en extérieur Hëka a cette fois-ci été attirée par un autre chien de Handi'Chiens qui se trouvait dans la zone de travail. Malgré ce fort stimulus, elle est revenue auprès de son éducatrice uniquement grâce aux commandes du collier².

CONCLUSION En cinq séances, tous les chiens ont appris à répondre aux commandes de base. Ils répondent tous au rappel, la commande "Viens", en extérieur avec des distances allant de 30 à 50 mètres. Hëka, qui semblait être le chien qui avait le plus de mal, a fini par montrer les résultats les plus prometteurs.

Expérimentation annexe

Durant les séances 4 et 5, une expérimentation est menée afin de savoir si les chiens répondent au collier même si leur éducateur n'est pas présent. Durant la première partie, chaque chien est laissé seul dans la salle d'entraînement et l'éducateur dans la pièce adjacente demande au chien de se coucher. Durant la seconde partie, une tierce personne marche dans la salle sans prêter une attention particulière au chien. Happolo a du mal à se coucher avec ou sans la tierce personne, mais après une dizaine de commandes, il finit par se coucher près de la porte d'où son éducateur est sorti. Holmes a également du mal à se coucher, mais finit par répondre à la commande après plusieurs essais. Hëka et Helios répondent beaucoup plus vite et se couchent après trois et quatre commandes "coucher". Ils ne se laissent pas non plus perturber par la tierce personne. Cette expérimentation confirme les résultats de l'expérimentation préliminaire. Même si les chiens ne voient pas leur éducateur les chiens répondent à une commande provenant du collier.

Améliorations

Durant les différentes séances, plusieurs problèmes techniques sont apparus. Le problème récurrent est la fragilité des connexions des nappes de câbles. À force de manipuler le collier, certaines soudures finissent par casser.

Le second problème est la portée de la liaison radio. Les modules radio utilisés ont une portée théorique de 300 mètres. En pratique au-delà de 50 mètres, la communication est instable et plusieurs commandes sont perdues.

L'application doit également être fiabilisée, car il est nécessaire de la redémarrer plusieurs fois pendant les séances.

II.2.4 COLLIER VERSION 2

Les résultats de la phase précédente sont très encourageants cependant un certain nombre de défaillances ont rendu les expérimentations délicates. La cause principale

2. <https://www.youtube.com/watch?v=KQTFaLZymmQ>

est la qualité du montage électronique. Afin de pouvoir continuer les expérimentations, il est important de faire évoluer le prototype afin de le consolider et de le fiabiliser.

II.2.4.1 Fiabilisation

Le point faible du précédent prototype est la fragilité des connexions entre les différents modules du collier. Pour ce nouveau prototype (collier version 2) l'ensemble des modules sont rassemblés sur une même carte imprimée faite sur mesure comme le montre la Figure 34.

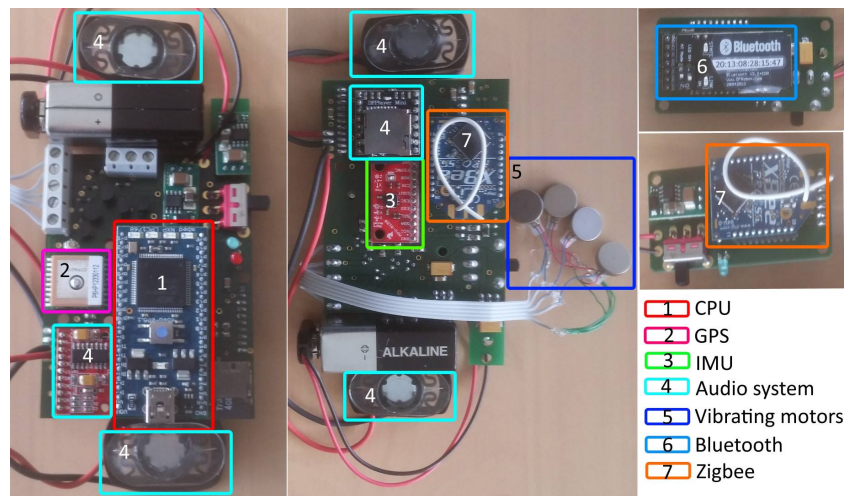


FIGURE 34. – Intérieur du collier et du boîtier interface

Le tout est enfermé dans une coque imprimée en 3D avec une imprimante à résine travers par un arceau en aluminium sur lequel le collier en cuir est attaché. La Figure 35 présente le collier et le boîtier interface.

La carte imprimée et le boîtier ont été conçus par Paul Gendry un étudiant de notre partenaire Philippe Lucidarme de l'Université d'Angers. Nous avons collaboré activement avec celui-ci afin de respecter les contraintes liées au projet.

Les modules utilisés sont essentiellement les mêmes à l'exception des modules audio et radio. Le module audio précédent utilise un format audio spécifique. Cela nécessite l'utilisation d'un logiciel particulier afin de convertir les fichiers audio au bon format. Le module audio de cette version prend des fichiers stéréo au format standard MPEG-1/2 Audio Layer 3, plus connu sous son abréviation de MP3, ce qui facilite son utilisation, en particulier l'enregistrement des nouvelles commandes.

Le second changement important est l'utilisation du module radio Xbee Pro basé sur le protocole de communication ZigBee. Ces modules sont plus imposants que les modules RF précédents, mais ils amènent deux avantages :

- Ils ont une portée théorique de 750 mètres. En pratique une fois qu'ils sont dans les boîtiers ils atteignent 130 mètres.
- Le protocole interne des modules assure une certaine fiabilité des données. Les trames incomplètes ou incorrectes sont supprimées par le protocole interne. Une

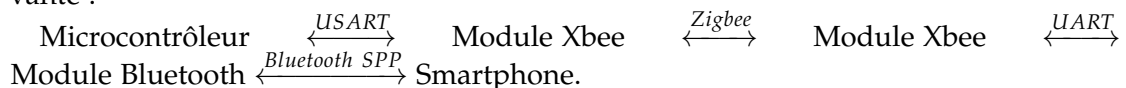


FIGURE 35. – Collier et boîtier interface Xbee

fois les modules configurés en paire, ils ont un comportement transparent, ils émulent une communication série, ce qui facilite le développement.

La Figure 36 représente le schéma électronique du collier. L'élément central est le module Mbed LPC1768 qui pilote le collier. Il contient un microcontrôleur Cortex-M3, 96MHz, 32KB RAM, 512KB FLASH. Il est reprogrammable par USB. Il est connecté au module IMU par un bus I2C (Inter-Integrated Circuit). Une liaison série UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) est partagée entre le module GPS et le module audio. Ils sont configurés pour communiquer à la même vitesse (115200 baud). Ce protocole utilise deux broches, une broche d'entrée (RX) et une broche de sortie (TX). La broche d'entrée (P27) est connectée au GPS qui envoie à intervalle régulier (1 seconde) les données qu'il possède. La broche de sortie (P28) est connectée au module audio et lui transmet les commandes permettant de jouer un son, de mettre en pause ou de changer le volume. Les commandes vocales sont stockées au format MP3 sur une carte microSD qui se place directement sur le module audio. Une seconde carte microSD est connectée au microcontrôleur contenant un fichier de configuration ainsi qu'un historique des événements du programme. Ensuite, en bas à droite du schéma, sont présents les transistors de puissances des vibreurs qui sont pilotés en PWM par le microcontrôleur. Une broche (P20) permet également de piloter une télécommande d'un collier anti-aboiement³ à base de citronnelle. Cependant, ce dispositif n'a pas été testé, car les éducateurs de Handi'Chiens refusent d'utiliser ce type de matériel.

Le module de communication Xbee est connecté au microcontrôleur par une connexion série UART. La communication avec le téléphone se fait de la manière suivante :



3. Jet Care System Education <http://www.zooroyal.fr/jetcare-system-education-pro-collier-anti-aboiement>

Les modules Xbee et Bluetooth sont connectés en hardware et ont un comportement transparent : ils ne nécessitent pas de commande spéciale pour envoyer ou recevoir des données, tout octet reçu sur la liaison série est envoyé sur le lien radio et vice versa. De cette manière, chaque octet envoyé par le smartphone est reçu directement par le collier et inversement de façon transparente. Cependant il est possible que certains octets soient perdus si les liens radio (Zigbee et Bluetooth) ne sont pas stables. Les protocoles internes aux modules Zigbee et Bluetooth possèdent un code de détection d'erreur, le comportement est le même : les octets altérés sont supprimés.

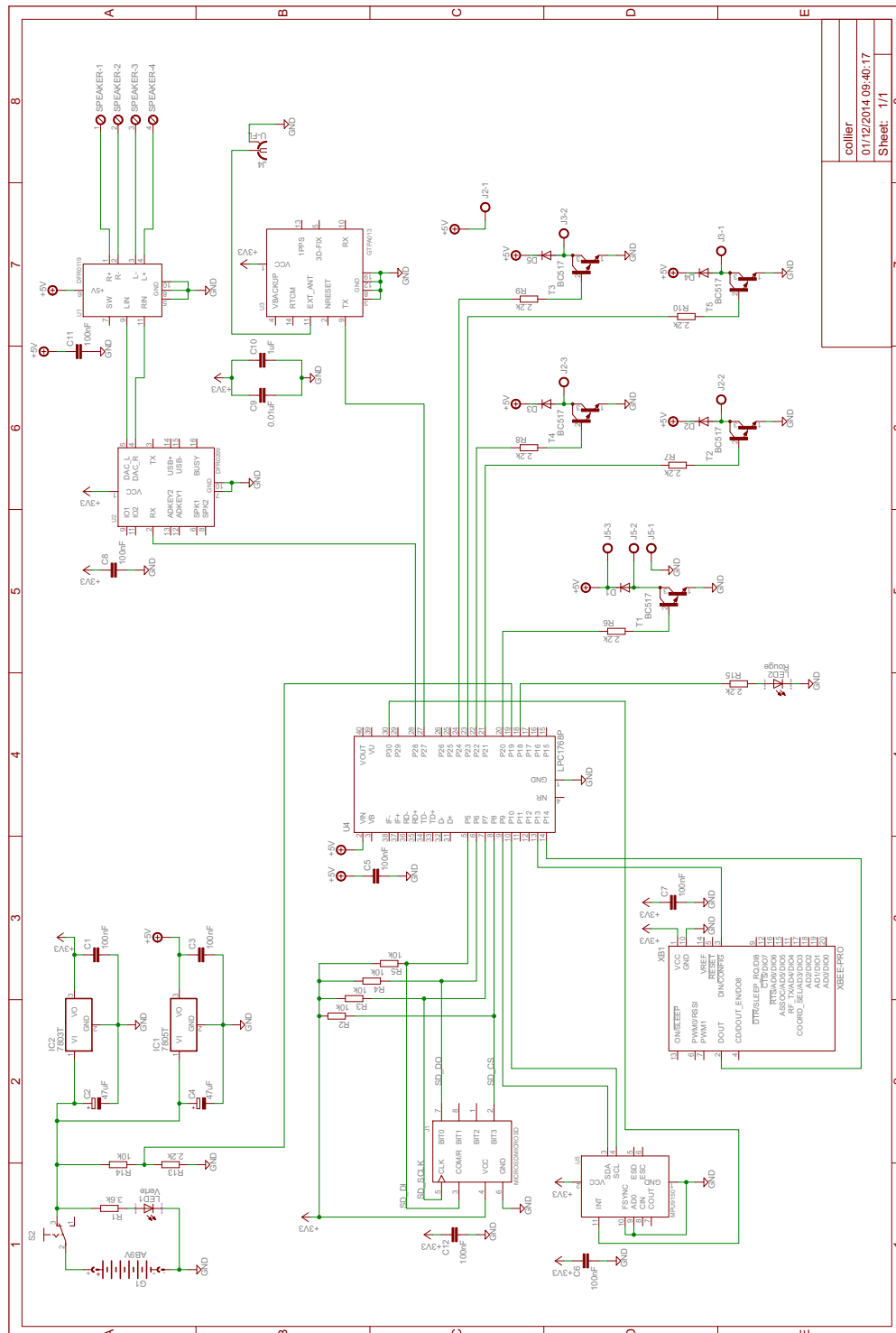


FIGURE 36. – Schéma électronique du prototype version 2

La Table 9 résume les différences entre la version 1 et la version 2 du prototype.

	Version 1	Version 2
Résistance mécanique	Faible	Fiabilisée
Portée expérimentale	RF 433 (50 mètres)	Xbee (130 mètres)
Format audio	Spécifique	Standard (mp3)

TABLE 9. – Différences entre les versions 1 et 2

II.2.4.2 Expérimentations chez Handi'Chiens Lyon avec la version 2

Une étude a été menée dans le centre de formation de Handi'Chiens Lyon. Le but de cette étude est d'évaluer sur le long terme le taux de réponse d'un ensemble de chiens d'assistance face aux commandes données par le collier connecté. L'étude a été supervisée par notre partenaire Didier Vernay, neurologue et spécialiste de la médiation animale, du CHU de Clermont-Ferrand ainsi que par un vétérinaire, Marie Chaffraix.

L'Annexe E reprend les rapports initialement rédigés par Didier Vernay et Marie Chaffraix. Elle décrit le déroulement précis de l'étude et analyse les résultats de celle-ci. Les points principaux à retenir sont les suivants :

L'étude s'est déroulée pendant les six mois de formation avancée où les chiens sont au centre de formation de Handi'Chiens. Deux éducateurs ont participé à l'étude et ont reçu chacun un collier version 2. À deux, ils ont sélectionné 13 chiens.

Les colliers sont intégrés à la formation de Handi'Chiens en quatre étapes :

- Le chien porte le collier passivement, aucun son n'est émis.
- L'éducateur tient le collier en main et la commande vient du collier pour familiariser le chien
- Le collier est porté, la commande vient de l'éducateur et du collier.
- Le collier est porté, la commande vient uniquement du collier.

La Figure 37 montre le chien Heros qui reçoit une commande du collier déclenché par l'éducateur Jérôme.

Au premier contact les chiens ont montré trois comportements : l'acceptation immédiate, l'excitation / agitation et la peur/évitement.

Globalement, les éducateurs ont été surpris de la rapidité d'adaptation de certains chiens. Les éducateurs ont montré un grand enthousiasme à la réalisation de cette étude et ont rapidement demandé l'ajout de plusieurs commandes peu après le début de l'étude. Chaque chien a été étudié pendant plusieurs séances durant lesquelles est évaluée leur qualité de réponses aux commandes données par le collier en comparaison à leur qualité de réponses aux commandes directes de l'éducateur. Après plusieurs séances, il a été possible de classer les chiens en trois catégories : répondeur, partiellement répondeur et non répondeur. En trois séances, les éducateurs sont capables de savoir si un chien n'est pas réceptif au collier. Sur les 13 chiens testés, deux ont été retirés de l'étude au bout de cinq séances et sont classés comme "non-répondeurs". Quatre chiens ont répondu très rapidement et sont classés comme "répondeurs". Les



FIGURE 37. – Éducateur donnant des commandes avec le smartphone à la main

sept autres chiens sont répondeurs au collier, mais nécessitent plus de temps pour s'adapter à ce nouveau moyen de communication, ils sont classés comme "répondeurs partiels".

Ci-dessous la conclusion du rapport de Didier Vernay :

"En conclusion, les données des tests préliminaires fait sur 13 chiens en cours d'éducation au centre Handi'Chiens de Lyon montrent qu'il est aisé pour les éducateurs de savoir si un chien est un bon répondeur ou un non-répondeur, cela nécessite quelques séances (pas plus de 3) selon les critères proposés. Pour les chiens partiellement répondeurs, des séances supplémentaires sont nécessaires pour savoir si un chien sera un bon répondeur. D'autres études sont nécessaires pour savoir si ces données sont généralisables à un échantillon de chiens plus large, à d'autres chiens et d'autres contextes éducatifs."

II.2.5 COLLIER VERSION 3 : COLLIER UTILISATEUR

Le prototype présenté dans la section précédente est fiable et a permis de réaliser une expérimentation sur le long terme. Cependant il n'est pas adapté pour des personnes en situation de handicap et pour une utilisation quotidienne. En effet le principal défaut est sa taille imposante (130x80x40mm) . Afin de fournir aux bénéficiaires de Handi'Chiens un collier utilisable il est nécessaire d'améliorer l'électronique et d'adapter l'interface. Cette section présente les modifications apportées pour obtenir un der-

nier prototype de collier(collier version 3), qui a été miniaturisé et dont l'utilisation a été simplifiée (cf Figure 38).



FIGURE 38. – Collier version

Afin de faciliter les expérimentations, plusieurs exemplaires ont été assemblés. La Figure 39 montre les quatre premiers prototypes présentés aux CES de Las Vegas dans le cadre d'un partenariat avec l'entreprise MagicaVision, entreprise développant des dispositifs pour les personnes malvoyantes.



FIGURE 39. – Colliers utilisateurs présentés au CES de Las Vegas

II.2.5.1 *Intégration*

Afin d'arriver à ce résultat, l'utilisation des modules de prototypage a été abandonnée, les services d'un bureau d'étude⁴ ont été requis afin de concevoir une carte de contrôle dédiée miniaturisée. Nous avons travaillé conjointement avec celui-ci tant

4. Bureau d'étude Adison (Le Bourget du lac)

sur la conception que sur les tests intermédiaires. Les composants retenus sont les suivants :

- Un microcontrôleur STM32F4 : ARM Cortex M4, 84 MHz, 512Ko Flash, 96Ko RAM
- Une mémoire flash S25FL256S : 256 Mo (32 secteurs 4Ko + 510 secteurs 64Ko)
- Une centrale inertielle MPU 9250 : accéléromètre 3 axes, gyromètre 3 axes, compas 3 axes
- Un GPS avec antenne intégré Ublox CAM-M8
- Un codec audio WM8731 : stéréo.
- Un microphone INMP441
- Quatre commandes vibreurs par transistor.
- Une liaison USB.
- Un système de charge de batterie sans fils QI
- Une liaison radio LORA.
- L'allumage et l'extinction du collier par interrupteurs magnétiques.

Les changements principaux sont les suivants :

- Les cartes SD sont remplacées par une seule mémoire FLASH.
- Les fichiers audio sont sur la FLASH ce qui implique :
 - Un microsystème de fichier est conçu afin de gérer facilement les fichiers audio. Un secteur 4Ko est utilisé pour gérer les index des fichiers contenant leur nom (1 octet) leur taille (4 octets) leur adresse de début (4 octets) et le nombre de secteurs 64Ko utilisés. Ce secteur référence également l'état des secteurs 64Ko : utilisé ou non utilisé.
 - Le transfert des sons se fait par le téléchargement via le microcontrôleur contrairement aux versions précédentes nécessitant l'extraction de la carte SD et le chargement par un PC.
 - Le Microcontrôleur se charge de transmettre les sons de la mémoire flash au codec audio. FLASH $\xrightarrow{SPI}$ Microcontrôleur $\xrightarrow{I2S}$ Codec audio
 - Le format audio choisi est le format PCM (modulation par impulsion et codage en français) 16bits 16000Hz. La taille de la carte flash permet d'utiliser un format non compressé facilitant la lecture des fichiers audio et évitant également une perte de qualité.
 - Dans un premier temps, une liaison USB est utilisée pour charger les sons sur le collier, celle-ci est remplacée par un module Bluetooth permettant le chargement des sons directement depuis un smartphone. Il n'est plus nécessaire d'ouvrir le collier pour ajouter, modifier ou supprimer des sons.
- Un microphone est ajouté pour faire des tests de détection de l'abolement (cf Table II.2.1.2.2.
- Le système de charge est intégré et utilise la charge par induction (technologie QI). Ceci permet aux personnes en situation de handicap de recharger leur collier simplement sans manipuler de câbles ou de connecteurs.
- Les haut-parleurs sont standards afin de retirer tout risque de vibrations involontaires apparues dans la version 2.

LIEN RADIO LONGUE PORTÉE : LORA CF SECTION I.4.2 L'autre changement principal est le passage à la technologie radio LORA pour la communication à longue portée. Cette technologie a une portée théorique de 10 kilomètres en plein champ en utilisant une passerelle positionnée dans un lieu propice (en hauteur). Dans notre cas nous utilisons des modules communiquant en point à point, la portée est donc réduite. Comme dans la version précédente, un boîtier interface, ici LORA/Bluetooth, est nécessaire afin de communiquer avec un smartphone.

COMMUNICATION COURTE ET LONGUE PORTÉE Le prototype a deux moyens de communication du Bluetooth et du LORA. Ceci est nécessaire, car le débit du LORA est trop faible pour transmettre un fichier audio. En effet, la configuration des modules LORA optimise la portée, mais en contrepartie le débit n'est que de 200 bauds (200 bits/sec soit 25 octets/sec). La communication Bluetooth permet de charger les fichiers audio avec une vitesse maximale théorique de 921600 bauds (115 ko/sec), cette vitesse est généralement moindre selon les modèles de smartphone (50 ko/sec minimum). L'autre avantage du Bluetooth est sa latence de transmission de la commande de 10 millisecondes contre 1 seconde pour les modules LORA utilisés. Rappelons que cette faible latence est importante surtout pendant la phase d'entraînement. En effet, un chien assimilera plus rapidement une commande si elle est donnée au moment opportun. Après plusieurs tests de portée, les modules LORA ont une portée expérimentale de 500 mètres et le module Bluetooth a une portée expérimentale de 50 mètres.

INTÉGRATION MÉCANIQUE Dans cette version, les haut-parleurs et les vibreurs sont répartis le long du collier. La batterie est séparée en deux éléments, deux batteries lithium-ion montées en parallèle, afin d'équilibrer les masses. L'ensemble des composants est coulé dans du silicone afin de réduire les risques de détérioration rencontrer dans le collier version 1. La Figure 40a montre le premier prototype coulé dans son moule. La Figure 40b montre le résultat des quatre premiers prototypes une fois démoulés. Cette photo montre également la répartition des éléments. Les fils connectant les différents éléments sont torsadés afin d'autoriser la déformation due à la manipulation des colliers. L'utilisation du silicone, le choix des technologies sans fil pour la communication et la charge par induction de la batterie permet de retirer le besoin de tout connecteur, ainsi les colliers sont quasiment imperméables à l'exception des haut-parleurs. Nous avons fait appel à une couturière indépendante spécialisée dans le cuir afin de recouvrir les colliers.

Les dimensions finales sont les suivantes : épaisseur 15 mm , largeur 60 mm sur partie centrale et 40 mm sur les côtés, 400 mm de longueur totale dont 80 mm non flexibles sur la partie centrale. Le poids total est de 250 grammes. La Table 10 compare les dimensions des parties centrales non flexibles entre la version 2 et la version du prototype. Le gain de place et de flexibilité est important. De plus le poids est réduit de moitié 250 grammes contre 500 grammes pour la version 2.



a Collier siliconé dans son moule



b Colliers démoulés

FIGURE 40. – Moulage des colliers

	Version 2	Version 3	Gain
Largeur	80mm	60mm	25%
Longueur	130mm	80mm	38%
Épaisseur	40mm	15mm	62%
Poids	500gr	250gr	50%

TABLE 10. – Dimensions versions 2 et 3

DÉVELOPPEMENT INFORMATIQUE Le programme du microcontrôleur STM32F401 du prototype est développé en C/C++ en utilisant l'environnement de développement System Workbench for STM32 ainsi que Standard Peripheral Libraries fourni par ST-Microelectronics. Ces bibliothèques permettent l'accès aux fonctionnalités hardware du microcontrôleur telles que l'utilisation des GPIO et l'utilisation et la configuration des protocoles de communication utilisés : USART, SPI, I2C, I2S. Un ensemble de fonctionnalités ont été développées sur le prototype à des fins de test en plus des fonctionnalités de base du prototype. Ces fonctionnalités sont accessibles par la communication Bluetooth qui se fait sous la forme d'un terminal série. Nous avons développé sur le collier un interpréteur de commandes qui permet de tester le bon fonctionnement des composants et d'utiliser un ensemble de commandes. Cet interpréteur propose le menu suivant présentant les différentes fonctionnalités implémentées :

MENU	Argument	Exemple
m : menu		Affiche le menu
ba : battery level		Affiche le niveau de la batterie
q : shutdown		Arrête le collier
et : echo cycle toggle		Active ou désactive l’affichage des données périodiques (GPS, batterie et activité)
Mémoire FLASH		
wd : write dataflash	adr num val	Répète un octet (val) un nombre (num) de fois à partir d’une adresse (adr)
rd : read dataflash	adr num	Lit un nombre (num) d’octets à partir de l’adresse (adr)
ed : erase dataflash	adr	Efface le secteur à l’adresse (adr)
pd : print dataflash		Affiche les informations de la Flash
be : bulk erase dataflash		Efface toute la Flash
Système de fichier		
cf : create file	id num	Crée un fichier d’identifiant (id) de taille (num)
df : delete file	id	Supprime le fichier d’identifiant (id)
ff : find file		Retourne la taille et l’emplacement du fichier d’identifiant (id)
sf : save file	id num [octets]	Crée un fichier et sauvegarde d’identifiant (id) et de taille (num) et écrit les octets qui suivent la commande en mémoire
gf : get file	id	Retourne les octets du fichier d’identifiant (id)
fs : print fs		Affiche le contenu du système de fichier
Audio		
ps : play sound	id	Joue le son dont le fichier a pour identifiant (id)
pn : play note	freq ms	Joue la note de fréquence (freq) pour (ms) milliseconde
vol : volume	vol	Change le volume de 1 à 12
tm : test micro		Teste le microphone
Centrale inertielle		
aa : acc axis		Retourne dernières valeurs de l’accéléromètre
ga : gyro axis		Retourne dernières valeurs du gyromètre
ma : magn axis		Retourne dernières valeurs du compas
ir : record imu	act	Commence l’enregistrement d’une activité d’identifiant (act)

MENU	Argument	Exemple
is : stop record imu		Arrête l'enregistrement précédemment commencé
Vibrations		
vi : vibrator	id pu	Modifie la puissance du vibreur d'identifiant (id) à la valeur (pu) [0-100]
vib : vib sequence	pattern	Joue un pattern de vibration voir ci-dessous
LORA		
ls : LORA send	str	Envoie une chaîne de caractère (str) sur la liaison LORA
lr : LORA receive	on	Active ou désactive le mode réception de la liaison LORA
lid : lora appid	id	Change l'identifiant (id) d'appairement du protocole LORA développé
GPS		
gps : gps echo	on	Active ou désactive l'affichage des données brutes du GPS
gss : gps set		Envoie au GPS les informations d'éphéméride préalablement téléchargées
Registres		
gr : get register	id	Récupère la valeur entière du registre (id)
sr : set register	id int	Modifie la valeur entière par (val) du registre (id)
grf : get fregister	id	Récupère la valeur flottante du registre (id)
srf : set fregister	id fl	Modifie la valeur flottante par (fl) du registre (id)
rr : reset register		Réinitialise les registres à leurs valeurs par défaut

Une fonctionnalité développée qui est particulièrement importante est l'utilisation d'un micro système de fichier. Celui-ci permet de créer, supprimer, trouver, sauvegarder ou récupérer un fichier. En effet le type mémoire utilisé est une mémoire FLASH⁵, ce micro système permet de gérer efficacement l'utilisation de la mémoire. Il utilise un secteur de 4 Ko facilement manipulable en mémoire RAM. Ce secteur contient le nombre de fichiers, un tableau de bits indiquant si un secteur 64 ko est occupé ou non et une table des inodes. Une inode contient l'identifiant du fichier sur un octet, sa

5. Une mémoire FLASH est constituée de plusieurs secteurs, il est possible de faire passer les bits de 0 à 1 individuellement, le passage de 0 à 1 se fait cependant par secteur et non individuellement. Une modification nécessite souvent la sauvegarde d'un secteur entier en mémoire RAM, puis la modification RAM, finalement le secteur est effacé puis réécrit avec les nouvelles données.

taille sur quatre octets et l'adresse du premier secteur utilisé. Les fichiers sont alignés sur les secteurs, ils commencent forcément au début d'un secteur.

Ci-dessous un exemple d'utilisation.

fs La commande "fs" permet d'afficher l'ensemble des fichiers.

17 Files

File 1 size 115008 address 0x20000

File 100 size 34496 address 0x50000

File 7 size 160768 address 0x60000

File 3 size 63232 address 0x90000

File 2 size 239232 address 0x250000

File 4 size 67584 address 0xE0000

File 5 size 134912 address 0xA0000

File 6 size 134400 address 0x100000

File 8 size 70400 address 0x160000

File 12 size 66112 address 0x180000

File 11 size 86208 address 0x1A0000

File 27 size 67584 address 0x1C0000

File 14 size 68992 address 0x1E0000

File 10 size 104896 address 0x200000

File 9 size 64704 address 0x220000

File 13 size 80512 address 0x230000

File 44 size 112640 address 0x130000

0,1,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,

La liste en fin d'affichage indique les secteurs utilisés.

cf La création d'un fichier "cf" consiste à réserver le nombre de secteurs nécessaires en fonction de la taille du fichier. La commande retourne l'adresse du premier secteur utilisé. Dans l'exemple présenté ci-dessus, si l'on souhaite créer un fichier de moins de 64Ko alors il sera placé dans le secteur 2, si le fichier est plus grand il sera placé dans un emplacement contenant suffisamment de secteurs libres consécutifs, dans cet exemple ce sera à partir du secteur 39.

df La commande "df" efface les secteurs utilisés par le fichier et met à jour le système de fichier.

sf La commande "sf" crée un fichier comme la commande "cf" puis sort le terminal série du mode interpréteur de commande afin de recevoir les données du fichier et les enregistre dans la mémoire. À la fin du transfert, le terminal repasse en mode interpréteur de commande. Si une erreur est survenue lors du transfert, le fichier est supprimé.

Les fichiers contiennent principalement les commandes vocales au format PCM 16 bits 32 kHz.

ps La commande "ps", suivi d'un identifiant de fichier, permet de jouer le son correspondant. Pendant qu'un son est joué, l'interpréteur ne traite plus les commandes.

Afin de gérer les vibrations, deux commandes sont disponibles.

- vi La commande "vi" permet d'activer un vibreur individuellement avec un pourcentage de puissance, par exemple "vi 1 50", le vibreur 1 à 50% de sa puissance maximale.
- vib La commande "vib" suivie d'une chaîne de caractères formatée permet de lancer un pattern de vibration. Dans ce mode les vibrations sont gérées par des interruptions hardware. Ceci permet d'effectuer un pattern de vibration en parallèle avec l'émission d'une commande vocale. Un tel système permet également de gérer les erreurs de communication. Un pattern incorrect n'est pas joué. De plus si la communication est perdue pendant l'exécution d'un pattern, l'arrêt des vibrations au bout du temps imparti est assuré. Ceci est important, car des vibrations incontrôlées peuvent être rapidement perturbantes pour le chien. Le format du pattern est le suivant "duT step:power:X(1,4) (step:power:X(1,4))*" avec : duT la durée totale en dixième de seconde 10=1s de [1-100], step l'étape de mise à jour des puissances [0-99], power la puissance à appliquer aux vibreurs, X le numéro du vibreur [1-4]. Par exemple la commande suivante "vib 20 0:100:12 0:50:34 5:100:1234 10:50:1234 15:50:12" donne le résultat suivant : la séquence dure 2 secondes (20), au départ 1 et 2 sont à 100%, 3 et 4 à 50%, à 0.5 seconde 1,2,3,4 passe à 100%, à 1 seconde 1,2,3,4 passent à 50%, à 1.5 seconde 1,2 passe à 50%, 3 et 4 restent à 100% jusqu'à la fin.

Le dernier point sur ce terminal série Bluetooth est l'affichage périodique de trois informations :

```
GPS S 3608.90000,11509.65000,10.5,5.0,90.1
BATT 3.75 D
ACT 1
```

La localisation GPS, l'état de la batterie (D décharge, C charge) et l'activité. Ici 1 signifie que le chien est calme. Concernant la détection d'activité, deux modes sont disponibles. Le premier utilise des seuils afin de déterminer si le chien est calme, marche ou cours. Les seuils sont modifiables en modifiant les registres correspondant avec la commande "srf". L'autre mode utilise le système d'apprentissage présenté dans les études préliminaires (cf. sous section II.2.1.2.1). Les commandes "ir" et "is" permettent d'enregistrer les données d'entraînement du système. Avec ce mode, il est possible d'avoir plus de trois activités reconnues.

PROTOCOLE LONGUE PORTÉE Toutes ces fonctionnalités sont disponibles par le Bluetooth à courte portée. Cependant, les fonctionnalités à longue portée sont réduites à la localisation, l'activité et la lecture d'un son. Ceci est dû aux spécificités de la communication LORA et des modules utilisés.

- Les modules sont soit en réception soit en émission.
- Le nombre d'octets transmis est limité à 60 octets.
- Les valeurs suivantes sont interdites : 0x0 [NULL], 0xD [CR], 0x20 [SPACE]
- Une latence d'une seconde est présente entre le moment d'envoi d'une trame par le premier module et la restitution de la trame par le second module.
- Une trame peut être perdue ou altérée.

- Les modules ont uniquement un mode broadcast. Tous les modules en réceptions à portée d'un module en émission, reçoivent le message.

Pour ces raisons un protocole réseau a été développé afin de communiquer entre le collier et le smartphone. Il reprend les principes standards des protocoles cf Table 12 :

- Deux octets de synchronisation permettent de détecter un début de trame.
- Un octet contenant un identifiant d'appairement. Ceci permet d'utiliser deux colliers dans la même zone géographique. Les messages ne comportant pas le bon identifiant sont ignorés.
- Un octet suivant est fixe.
- Un octet contenant la taille de la trame. Sa valeur est l'inverse la taille de la trame. Ceci permet d'éviter les valeurs interdites.
- Un octet contenant le caractère d'échappement utilisé dans le codage de la trame, 0x80 par défaut. En effet la trame est encodée afin de supprimer les valeurs interdites. L'Annexe D (page 155) présente l'algorithme permettant d'échapper les valeurs interdites. Les valeurs interdites sont remplacées par la valeur d'échappement suivi d'une valeur spécifique : 0x0 → 0x30, 0xD → 0x64, 0x20 → 0x32. Si dans la trame le caractère d'échappement est naturellement présent, suivi d'une de ces valeurs spécifiques, le caractère d'échappement est incrémenté et l'algorithme est relancé depuis le début.
- Le message encodé
- Deux octets de CRC permettant de détecter les erreurs de transmission

0x24 0x24	App ID	0x1	255-Taille	ESC	Données	CRC 1	CRC 2
2 octets	1 octet	1 octet	1 octet	1 octet	1-40 octets	1 octet	1 octet

TABLE 12. – Protocole communication LORA

Le protocole règle les problèmes de valeur interdite et d'erreur de communication. Il permet également de gérer le mode broadcast des modules en utilisant un identifiant d'appairage. La dernière contrainte est la latence des modules. Afin qu'elle soit réduite au maximum pour l'envoi d'une commande vocale, le collier est par défaut en réception. Le smartphone envoie une requête demandant la localisation et l'activité et quand c'est nécessaire la lecture d'un son. Ensuite, le module côté smartphone, dans le boîtier interface, se met en réception pour 10 secondes ou jusqu'à réception de la réponse du collier. Côté collier, à la réception d'une requête le module passe en mode émission et envoie la réponse contenant la localisation, latitude et longitude au format degrés décimaux, l'identifiant de l'activité et le caractère S pour accusé la réception d'une requête avec demande la lecture d'un son.

Ce protocole est utilisé dans les deux sens. Il est donc également implémenté dans l'interface mobile dont fait l'objet du chapitre suivant Chapitre II.3.

II.2.5.2 Expérimentation utilisateur

Les expérimentations utilisateurs sont en cours à l'heure de la rédaction de ce manuscrit. Trois colliers ont été remis à des personnes en situation de handicap possédant

un chien d'assistance. Deux colliers ont été remis au centre Handi'Chiens de Lyon afin que les éducateurs continuent d'entraîner des chiens avec les colliers.

II.2.5.3 Évolution du collier

La Table 13 résume les différences entre les versions de collier. Les points importants de la version 3 sont la réduction de sa taille et l'augmentation de la portée et la possibilité de charger des sons directement depuis le smartphone ce qui facilite son utilisation. Ces améliorations étaient nécessaires pour que les colliers soient utilisables par des personnes en situation de handicap. À la fin de cette étape, huit colliers dans la version 3 et 7 dans la version 2 ont été fabriqués. À noter que le protocole de communication des colliers version 2 a été mis à jour afin qu'il soit compatible avec le protocole Bluetooth des colliers version 3. Ceci les rend compatibles avec l'interface utilisateur développée. Quinze colliers sont ainsi disponibles à des fins expérimentales.

	Version 1	Version 2	Version 3
Résistance mécanique	Faible	Fiabilisée	Fiabilisée
Portée expérimentale	RF 433 (50m)	Xbee (130m)	LORA (500 mètres)
Format audio	Spécifique	Compressé (MP3)	Non compressé (PCM)
Transfert du son	Carte SD	Carte SD	Bluetooth
Encombrement	Répartie	Important	Faible
Protocole réseau	Non	Non	Oui

TABLE 13. – Différences entre les versions 1, 2 et 3

II.2.6 CONCLUSION

Les travaux présentés dans ce chapitre ont donné un début de réponse aux questions scientifiques :

- Est-ce qu'un animal obéira à un dispositif électronique ?
- Quels dispositifs électroniques pourront permettre de faire obéir un animal ?
- Quels sont les sens utilisables ?

Et à la question technique :

- Quel type de dispositif électronique pour chaque sens ?

Plusieurs études préliminaires ont été réalisées afin de valider quels sens sont utilisables dans la communication chien-machine. L'utilisation du goût a été abandonnée par le système éducatif de Handi'Chiens. Pour les mêmes raisons, les tests sur l'odorat n'ont pas été effectués. Les travaux se sont concentrés sur l'utilisation du son et en particulier l'utilisation de commandes vocales préenregistrées. Plusieurs expérimentations ont montré qu'un chien est capable d'obéir à un système délivrant une voix préenregistrée. L'hypothèse qui ressort de ces expérimentations est que 50% des chiens d'assistance sont capables de répondre au collier connecté. L'autre sens testé est celui du toucher et ceci principalement par l'utilisation de vibrations. L'ob-

jectif principal était la récompense. Il s'est avéré qu'une vibration notamment au niveau du collier n'est pas appropriée pour la récompense. Cependant, celle-ci s'est révélée utile pour reprendre l'attention du chien et ainsi le rendre plus réceptif aux commandes vocales. Afin de réaliser ces expérimentations, un collier connecté a été développé. Ce développement s'est effectué en plusieurs étapes répondant aux besoins croissants des expérimentations. Le collier final est suffisamment abouti pour répondre à la problématique applicative de Handi'Chiens qui est à l'origine de cette étude. "Un dispositif électronique peut-il aider une personne en situation de handicap à communiquer avec son chien d'assistance?". La situation principale est celle du rappel et les chiens entraînés avec le collier répondent à la commande "Viens" du collier, lorsque le maître est encore en vue. Des tests ont montré que des chiens sont capables de répondre à des commandes lorsque leur maître n'est pas en vue. Des expérimentations sont en cours pour confirmer ces hypothèses. Ce collier est déjà un succès pour les personnes ayant des problèmes d'élocution ou de puissance vocale, permanent ou passager. De plus le collier contient de nombreuses fonctionnalités et est suffisamment complet pour devenir une base de développement pour de nombreuses expérimentations sur l'interaction chien machine.

Le collier n'étant pas adapté pour donner une récompense tactile, plusieurs prototypes de harnais ont été développés afin de connaître la réaction de chien face à un système de récompense mécanique. Les résultats des prototypes tactiles ont été peu concluants. L'interaction tactile ne semble pas incommoder les chiens une fois que la surprise due à la nouveauté est passée. Il n'a cependant pas été possible de définir si ces stimuli peuvent être utilisés comme une récompense. Toutefois il est possible que ces systèmes soient mal analysés en raison de la complexité de l'expérimentation animale. Par ailleurs, la durée des expérimentations est peut-être également une autre cause de ces résultats négatifs. La question de comment recueillir les informations d'une expérience sur l'interaction lorsque le sujet est un animal est une des questions majeures de notre travail et de l'IAM en général. Les expériences effectuées sont un bon exemple, les techniques issues de l'IHM ne peuvent pas être directement appliquées à l'IAM. Elles doivent être adaptées. Il est raisonnable de demander à une personne de répondre à un questionnaire sur son ressenti. Un animal ne peut y répondre, cependant son maître avec tous les biais que cela implique peut répondre à un questionnaire adapté.

II.3

UNE INTERFACE MOBILE ACCESSIBLE

Ce chapitre présente le développement de l'application mobile permettant de piloter le collier. En particulier quels sont les choix effectués concernant l'interface utilisateur. Une première interface a été développée pour les éducateurs (cf. sous section II.2.3.3), mais celle-ci répond à leurs besoins spécifiques. Le collier version 3 est destiné principalement pour les utilisateurs finaux, les bénéficiaires de Handi'Chiens. Ces personnes sont pour la plupart atteintes de déficiences motrices. L'état de l'art sur les interfaces mobiles accessibles (cf. Chapitre I.3) a montré que l'utilisation d'un écran tactile facilite l'interaction de nombreuses personnes en situation de handicap. Ceci nous a été confirmé par l'association Handi'Chiens, bon nombre de leurs bénéficiaires utilisent des smartphones ou tablettes. Cependant, il n'y a pas deux handicaps identiques et chaque personne s'adapte à sa manière. Les personnes atteintes de déficiences motrices sont une population particulière et les bénéficiaires de Handi'Chiens sont un sous-ensemble de celle-ci. La population étudiée est donc très spécifique, l'utilisation d'une méthode de conception centrée utilisateur est particulièrement appropriée. De plus, afin de mettre les utilisateurs au cœur de la conception nous avons fait le choix de la conception participative. Un atelier de co-conception a été organisé durant deux stages de remise de chien de Handi'Chiens. Un troisième stage a permis de valider l'interface développée. La première partie de ce chapitre présente le protocole suivi lors des ateliers. La seconde partie présente les principaux résultats obtenus à l'issue des ateliers et la dernière partie présente l'application finale.

II.3.1 ATELIER DE CO-CONCEPTION : PROTOCOLE

Le protocole expérimental pour la conception participative de l'interface, a été préparé en collaboration avec Nadine Mandran dont les travaux de recherche s'intéressent aux méthodes d'expérimentations et d'analyses de comportements humains [Dupuy-Chessa et al., 2011].

OBJECTIFS Cet atelier a deux objectifs :

- Recueillir les pratiques d'utilisation des smartphones et tablettes des personnes en situation de handicap.
- Critiquer et améliorer l'interface graphique d'une application mobile destinée à des personnes en situation de handicap.

Objectif de l'étape	Questions en lien avec cette étape	Activité
1 Présenter l'étude aux participants		Présentation du projet ANR Cochise et des fonctionnalités du collier connecté.
2 Connaître les participants	Comment une personne en situation de handicap manipule un smartphone ou une tablette ?	Réponse individuelle à un questionnaire sur les habitudes et connaissances de chaque participant
3 Présenter l'activité de co-conception aux participants		"Présentation d'un scénario d'usage Présentation de 3 interfaces d'exemple"
4 Améliorer les maquettes	Comment l'interface d'une application mobile peut être simple d'utilisation pour une personne en situation de handicap ?	Atelier de coconception. Les participants, par groupe, construisent une interface à partir d'une ou plusieurs des interfaces d'exemples.
5 Présenter et évaluer les travaux		Débriefing. Les groupes présentent leur interface et débattent tous ensemble afin de faire remonter les points faibles et les points forts de chaque interface.

TABLE 14. – Déroulement de l'atelier de co-conception

QUESTIONS Afin de remplir ces objectifs, il doit répondre aux questions suivantes :

- Comment une personne en situation de handicap manipule un smartphone ou une tablette ?
- Comment l'interface d'une application mobile peut être simple d'utilisation pour une personne en situation de handicap ?

DÉROULEMENT La Table 14 présente le déroulement de l'atelier qui a été structuré en cinq étapes.

PARTICIPANTS Durant le premier atelier, les 11 bénéficiaires en stage ont participé à l'atelier. Ils sont séparés en deux binômes, un groupe de trois et un groupe de quatre. Durant le second atelier, neuf bénéficiaires sur les onze présents ont participé à l'atelier : un binôme, un groupe de trois et un groupe de quatre. La manipulation

des maquettes papier (cf. Figure 41) étant compliquées pour la plupart des participants, chaque groupe disposait d'une tierce personne (éducateurs Handi'Chiens et moi-même) afin de les assister.

LIEU Les ateliers se sont déroulés dans le centre de vacances où se déroule le stage de remise des chiens.

MATÉRIEL TECHNIQUES La phase de co-conception des ateliers est enregistrée à l'aide d'enregistreurs audio.

MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL Le matériel expérimental des deux ateliers était constitué, d'un diaporama de présentation, d'une grille d'animation et d'un questionnaire (cf. section F.1 (page 173)). Le questionnaire a deux objectifs :

- Quelles sont les habitudes d'utilisation des personnes avec des déficiences motrices avec leur smartphone et tablette ?
- Quelles sont leurs difficultés et préférences face aux interactions standards avec un écran tactile.

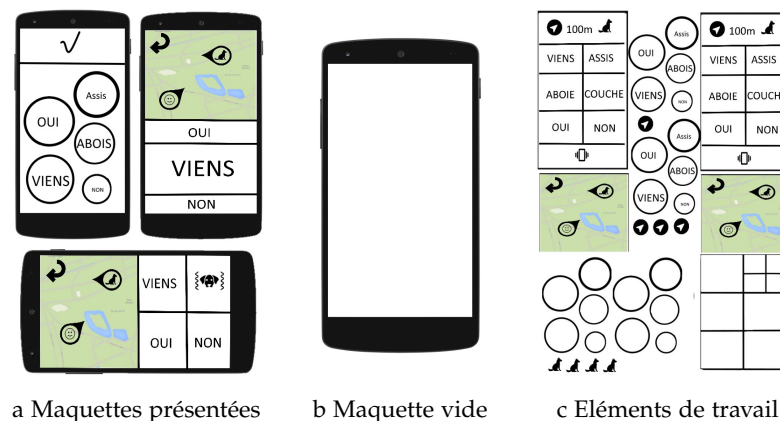


FIGURE 41. – Maquettes de conception

Pour la partie co-conception, trois maquettes papier ont été présentées (cf. Figure 41a). Chacune met en œuvre un type d'interaction différent :

- Une maquette purement bouton
- Une maquette purement glisser-déposer avec l'utilisation de bulle.
- Une maquette permettant de faire défiler les commandes sous forme de roulette.

Afin de ne pas contraindre les participants, ils pouvaient travailler sur des interfaces vierges (cf. Figure 41b). Quelques éléments leur étaient par ailleurs proposés (cf. Figure 41c).

TYPES DE DONNÉES RECUEILLIES Les données recueillies sont de type qualitatif.

Interaction	Score moyen Question 9	Rang moyen Question 10
Appui court	4.12	1.78
Glisser	3.94	2.31
Reconnaissance Vocale	3.78	3.15
Appui long	3.52	3.68
Double appui	3.26	4.05
Zoom	2.47	4.89

TABLE 15. – Classement des interactions

II.3.2 ANALYSE DES ATELIERS

II.3.2.1 *Le questionnaire*

Les questions 1 à 6 portent sur leur connaissance sur des smartphones et tablettes : En possèdent-ils ? À quelle fréquence les utilisent-ils ? Les questions 7 et 8 portent sur l'adaptation logicielle ou matérielle de leur smartphone et tablette.

La section F.2 (page 177) présente les résultats du questionnaire. Dix-huit personnes ont répondu au questionnaire.

La première observation obtenue par le questionnaire est sur l'usage des smartphones et des tablettes. Les bénéficiaires privilégient les tablettes pour les usages ludiques et le smartphone pour les autres tâches. Neuf participants utilisent à la fois un smartphone et une tablette. Sur ces neuf participants, huit utilisent leur tablette pour jouer alors que seulement quatre d'entre eux utilisent leur smartphone pour jouer. On peut faire l'hypothèse que la plateforme privilégiée pour l'application ANR Cochise sera le smartphone. Ce résultat a été confirmé par les commentaires des bénéficiaires durant la phase de co-conception.

Dix personnes utilisent les options d'accessibilité pour faciliter leur utilisation des écrans tactiles.

La question 9 demande le degré de facilité (très facile à très difficile) avec lequel la personne effectue six interactions : l'appui court, l'appui long, le double appui, le glisser, le zoom et la reconnaissance vocale. La question 10 demande de classer les interactions (rang 1 à 6). La Table 15 montre le classement des interactions selon leur difficulté moyenne ressentie (5 = Très facile - 1 = Très Difficile) et leur rang moyen. Il est rassurant de voir que les réponses aux deux questions concordent. L'appui court et le glisser sont relativement faciles à effectuer avec une légère préférence pour l'appui court. Au contraire, le zoom est plutôt difficile à effectuer. Le cas de la reconnaissance vocale est particulier : six personnes l'ont choisi au rang 1 et cinq au rang 6. Les personnes ayant choisi le rang 6 pour la reconnaissance vocale sont les personnes ne sachant pas s'en servir ou n'ayant jamais essayé de s'en servir. Le résultat est donc mitigé par rapport à cette interaction.

Ces résultats sont complétés et confirmés par les commentaires recueillis par l'atelier de co-conception.

II.3.2.2 Co-conception

Le premier point à remarquer est le fort enthousiasme des bénéficiaires envers le projet ANR Cochise. Malgré le fait qu'une personne était présente pour les aider, peu de maquettes papier ont été réellement manipulées, la majorité des données recueillies sont les enregistrements des discussions des différents groupes. Le sujet principal de l'atelier est l'interface de l'application. Cependant, les discussions se sont souvent orientées vers les fonctionnalités du collier. Il était alors nécessaire de réorienter les discussions. Il reste intéressant d'évoquer les fonctionnalités discutées.

Ci-dessous les idées qui faisaient l'unanimité après discussions :

- La maquette à bulle n'est pas appropriée. Elle évoque un côté ludique qui n'est pas approprié dans ce contexte.
- Les commandes doivent être regroupées selon le contexte d'utilisation (en intérieur, en extérieur, en situation de rappel).
- La carte doit être rapidement accessible.
- Les commandes importantes doivent toujours être présentes sur l'interface, par exemple le nom du chien en bas.
- Les boutons des commandes doivent comporter des icônes et du texte. (Une des bénéficiaires aurait préféré le texte uniquement)
- Des boutons sont nécessaires pour manipuler la carte. (Cohérent avec l'action du zoom difficile)
- Un système de recherche de commande serait intéressant. (Système proche de la recherche d'un contact téléphonique dans le répertoire du téléphone)
- L'utilisation du clic est plus usuelle pour l'envoi de commande, le glisser est envisagé pour le changement de page ou le défilement de commande.

Toutes ces fonctions ont été intégrées dans l'application ANR Cochise présentée dans le paragraphe suivant.

REMARQUES Quelques idées supplémentaires ont été proposées.

Un lien maître-chien vidéo et audio direct a été évoqué cependant pour des raisons de complexité techniques ces fonctionnalités ne sont pas retenues.

Deux autres fonctionnalités ont été proposées et sont facilement implémentables avec la technologie du collier :

- Un système d'alerte lorsque le chien s'éloigne trop de son maître. Par analyse de la position obtenue par le GPS, il est facile de déterminer si le chien est dans une zone non autorisée. Dans ce cas, une alerte est exécutée sur l'interface et commande de rappel est automatiquement jouée dans le collier.
- L'envoi d'une alerte si le chien ne respecte pas un ordre de maintien en position. En effet l'ordre "Pas bouger" qui commande au chien de rester en position sera automatiquement réémis si une activité est détectée par le collier.

II.3.3 APPLICATION ANR COCHISE

À partir du travail d'une étudiante en stage de licence, Claire Dupont, une interface complète a été développée.

II.3.3.1 Choix technologique

L'application a été développée avec le framework open source Apache Cordova¹ développé par la fondation Apache.

Apache Cordova est un framework de développement mobile open source. Il permet d'exploiter les technologies Web courantes telles que HTML5, CSS3 et JavaScript pour développer des applications multi-plateformes, évitant ainsi l'utilisation des langages natifs propres aux différentes plateformes mobiles. Les applications s'exécutent dans des wrappers ciblés pour chaque plateforme, elles s'appuient sur des API conformes aux standards permettant l'accès aux capteurs de chaque appareil, aux données ainsi qu'à l'état du réseau.

Ce choix a été pris dans l'optique de rendre l'application compatible Android et IOS. La version IOS a été abandonnée pour des raisons de licence Bluetooth. En effet, la société Apple demande d'intégrer un composant propriétaire afin de permettre à un dispositif de se connecter à un iPhone avec du Bluetooth version 3 utilisé pour le transfert des fichiers sons. Les technologies Web sont également appropriées pour concevoir des interfaces utilisateurs flexibles.

Le second framework open source utilisé est AngularJs² développé par Google. C'est un framework JavaScript structuré autour du patron de conception Modèle-Vue-Contrôleur qui étend le langage HTML avec de nouvelles balises et attributs. La partie CSS de la librairie Bootstrap³ a été utilisée afin de concevoir une application s'adaptant à plusieurs formats d'appareil, smartphones et tablettes.

1. <https://cordova.apache.org/>

2. <https://angularjs.org/>

3. <http://getbootstrap.com/css/>

II.3.3.2 L'interface accessible

Suite aux choix technologiques et aux conclusions des ateliers de co-conception, une application en web design a été développée qui contient différents écrans afin que la personne puisse paramétrer puis utiliser le collier dans les différentes situations. Cette application est téléchargeable sur le Play Store des plateformes Android sous le nom "ANR Cochise" <https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.liglab.cochise&hl=fr>.

CARTE Un écran est dédié à la recherche et au rappel du chien en cas d'éloignement (cf. Figure 42). Une carte est affichée sur laquelle sont présents deux marqueurs. Un représentant la localisation du chien et l'autre représentant la localisation du maître (localisation du smartphone). Le zoom est un réel problème pour les personnes en situation de handicap. Un bouton a été rajouté dans la carte permettant de recadrer la carte afin que les deux marqueurs apparaissent avec un niveau de zoom optimal. L'écran possède trois commandes "Viens", "Couché" et "Abois" afin de faire revenir le chien, signaler sa présence ou attendre que son maître vienne le chercher. L'écran affiche également la dernière activité transmise par le collier et la distance estimée entre le chien et le maître. Cet écran est accessible de tous les autres à partir d'une icône disponible dans la zone de titre.

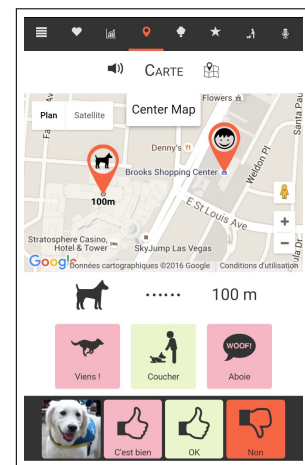


FIGURE 42. – Carte

SANTÉ Un écran permet de suivre l'activité du chien pendant une balade (cf. Figure 43). Cet écran affiche : le temps depuis le début de la balade, le nombre de kilomètres estimé depuis le début de la balade, la vitesse estimée du chien et l'activité du chien. Il a été envisagé de calculer les calories dépensées par le chien afin de s'assurer qu'il fasse suffisamment d'exercice quotidien. Cependant un calcul fiable des calories est complexe [?]. Le développement de cette fonctionnalité n'étant pas prioritaire, il a été suspendu.

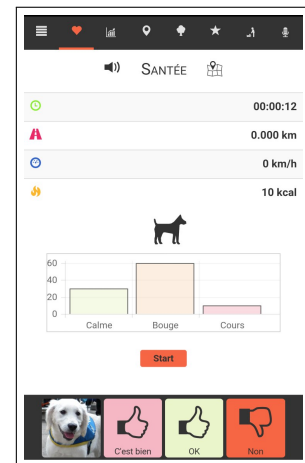


FIGURE 43. – Santé

ENTRAÎNEMENT Trois écrans proposent un ensemble de boutons selon trois contextes "Entraînement" "Dehors" et "Favoris" (cf. Figure 44 qui montre le contexte Entraînement). Chaque bouton correspond une commande. En cliquant sur un bouton, la commande est jouée sur le collier. Une signalisation à base d'icônes permet de savoir si une commande est en cours de transmission, a été bien reçue ou s'est perdue. Un code couleur permet de différencier les types de commande. Mauve pour les intonations montantes, vert pour les intonations descendantes, orange pour les intonations neutres et rouge pour les interdictions. Quatre commandes sont présentes sur tous les écrans, excepté pour les écrans de configuration. Les commandes fixes sont situées en bas de l'écran : le nom du chien (photo du chien), la récompense vocale avec une intonation descendante "C'est bien" possible de changer de écran par une intonation montante "Ok" et l'interdiction "Non" ou un menu plus grand à gauche de l'écran (cf. Figure 45). Il est aussi possible de changer d'écran en utilisant le glisser horizontal. Cette option est désactivable dans les paramètres afin de garder uniquement des interactions de type appui court.

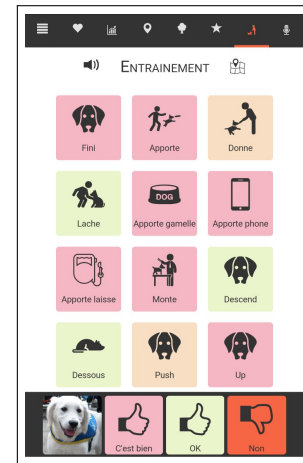


FIGURE 44. – Entraînement

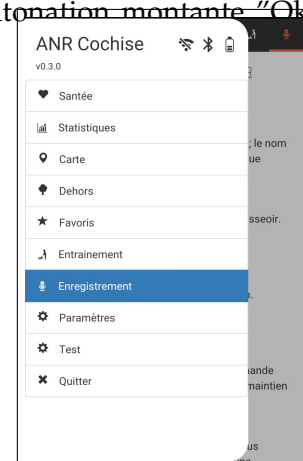


FIGURE 45. – Menu

PARAMÈTRES La Figure 46 présente l'écran des paramètres. Cet écran permet de configurer la connexion au collier "Courte portée" et la connexion au boîtier interface LORA "Longue Portée". Ensuite, il est possible de se connecter depuis n'importe quel écran à partir du bandeau apparaissant dès que le collier est déconnecté. Cet écran propose également l'utilisation de la vibration, il est possible de choisir un pattern et l'intensité de la vibration. La vibration est vouée à être intégrée directement aux commandes. L'application est destinée principalement aux bénéficiaires de Handi'Chiens. Cependant les expérimentations avec les éducateurs de Handi'Chiens se poursuivent. Cet écran permet également aux éducateurs de gérer plusieurs chiens.

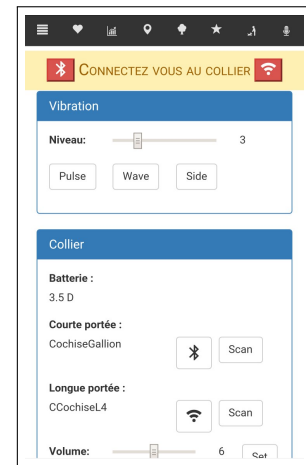


FIGURE 46. – Paramètres

ENREGISTREMENT DES COMMANDES L'écran des commandes (cf. Figure 47) contient l'ensemble des commandes de Handi'Chiens avec leur description et l'intonation à utiliser. Une fonction de recherche permet de filtrer les commandes affichées, fonction proposée lors de l'atelier de co-conception. En cliquant sur une des commandes, on bascule sur l'écran ci-dessous.

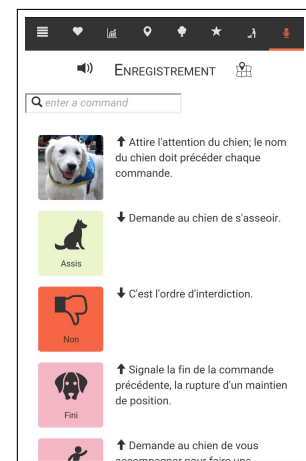


FIGURE 47. – Enregistrement

CONFIGURATION DES COMMANDES Cet écran (cf. Figure 48) permet d'enregistrer et de transférer une commande vocale. Un plug-in Cordova a été développé afin de pouvoir enregistrer et lire des fichiers directement au format PCM.

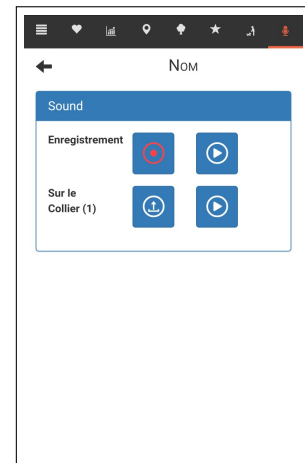


FIGURE 48. – Configuration

II.3.4 SYNTHÈSE

L'interface, conçue par conception participative, a été validée par les bénéficiaires du troisième stage de remise de chien. Ils ont trouvé l'utilisation l'interface intuitive et facile d'utilisation. Il reste des pistes d'amélioration comme l'ajout de la reconnaissance vocale. L'interface a également été présentée au CES de Las Vegas avec les colliers version 3. Elle a eu un écho favorable auprès du public.

Trois systèmes complets, interface plus collier, sont en cours d'évaluation chez des personnes en situation de handicap et possédant un chien d'assistance.

Troisième partie

CONCLUSION ET PERSPECTIVE

III.1

CONCLUSION

La question applicative posée par Handi'Chiens était : "Comment améliorer, grâce à la technologie actuelle, la communication entre un chien d'assistance et son maître en situation de handicap ?". L'étude menée dans ce mémoire a pour objectif d'apporter des éléments de réponse à cette problématique. En particulier, à partir de cette question initiale, nous avons pu la décomposer en une série de questions que nous reprenons ici.

EST-CE QU'UN ANIMAL OBÉIRA À UN DISPOSITIF ÉLECTRONIQUE ? Nous avons montré que le chien obéit rapidement à un dispositif électronique même en l'absence de son maître. Une fois éduqué, le chien répond de la même manière aux commandes qui lui sont délivrées, qu'elles viennent de l'homme ou du système.

QUELS SONT LES SENS UTILISABLES ? Tous les sens n'ont pas été testés. En effet, les règles de Handi'Chiens nous ont contraints à nous concentrer sur l'ouïe et le toucher. L'odorat a été jugé trop "punitif" pour être utilisé dans ce cadre applicatif, toutefois le collier développé est compatible avec un collier du commerce¹. Le goût a été écarté pour deux raisons. La première est liée aux risques de bagarre entre chiens que pourrait générer la présence de nourriture sur le chien. La deuxième est que l'homme doit rester le maître et que cela passe par être le seul à donner la nourriture. Enfin, la vue n'est pas une priorité dans le projet ANR Cochise.

QUELS TYPES DE DISPOSITIFS ÉLECTRONIQUES POUR CHAQUE SENS ? Des haut-parleurs embarqués dans un harnais ou un collier ont montré une bonne réponse du chien avec une voix enregistrée par le maître. Les vibreurs se sont révélés utilisables pour stimuler l'attention du chien. Les résultats obtenus sur divers systèmes de caresse n'ont pas été concluants.

EXISTE-T-IL UN SYSTÈME GÉNÉRIQUE DE PILOTAGE DE CES DISPOSITIFS QUI S'ADAPTE AUX DIFFÉRENTS HANDICAPS ? Les personnes concernées par cette étude sont toutes utilisatrices de dispositifs mobiles de type smartphone et tablette, avec des usages différents, en fonction de leur handicap. C'est donc ce support qui a été retenu dans cette étude.

1. Jet Care System Education <http://www.zooroyal.fr/jetcare-system-education-pro-collier-anti-aboiement>

QUELLES FONCTIONNALITÉS DE L'INTERFACE GÉNÉRIQUE ? En utilisant une méthode de conception participative, il a été possible de spécifier et concevoir une interface basée sur trois grandes catégories :

- "Carte" qui permet de connaître la localisation et l'activité du chien.
- "Santé" qui permet de suivre l'évolution de l'activité du chien pendant une balade.
- "Entraînement" qui permet de faire travailler le chien dans différents contextes.

Toutes ces catégories ont une partie commune sur l'écran qui regroupe les commandes les plus courantes.

COMMENT ADAPTER L'INTERFACE AUX DIFFÉRENTS BESOINS ? L'interface contient des écrans de configuration qui permettent de personnaliser les icônes et d'associer un son personnalisé aux différentes commandes vocales. Cette configuration s'applique aussi bien à la personne en situation de handicap qu'à l'éducateur lors de la phase d'éducation du chien.

Le collier connecté et son interface, dans leurs dernières versions, ont pu être testés en situation par les éducateurs et ont montré une très bonne réactivité des chiens. Des tests d'usages par des utilisateurs finaux sont actuellement en cours et les prochaines semaines permettront de valider le collier connecté utilisé au quotidien.

L'ensemble de ces études a donné lieu à la réalisation finale d'un collier connecté, piloté par une interface sur smartphone qui a été présenté en janvier 2016 au CES de Las Vegas sur le stand de l'entreprise MagicaVision qui est intéressée par la commercialisation du collier, couplé à son propre téléphone à destination de personnes non voyantes.

III.2

PERSPECTIVES

Le travail présenté dans ce document se situe à l'intersection de plusieurs domaines de recherche : les IHM, les systèmes communicants, la robotique, et du domaine très récent de l'Interaction Animal-Machine pour lequel peu d'expérimentations ont été réalisées. Il ouvre de nombreuses perspectives.

COLLIER CONNECTÉ Il serait tout d'abord intéressant de poursuivre les expérimentations sur l'utilisation des commandes vocales. Par exemple, quel serait le temps d'adaptation d'un chien en modifiant certaines modalités : passage d'une voix n'appartenant pas au maître ou à l'éducateur (synthèse), utiliser une voix transmise en direct et non plus préenregistrée, utilisation d'une modalité différente comme les ultrasons.

L'utilisation du toucher dans la communication chien-machine offre également plusieurs perspectives de recherche. Il reste à parfaire les résultats sur les prototypes de harnais tactiles développés en effectuant des expérimentations sur le long terme et en faisant appel à des professionnels du comportement animal. Le harnais robotique une fois intégré peut offrir une liberté de mouvement qu'il serait intéressant de tester. D'autres types d'interactions tactiles peuvent être envisagés comme par exemple l'utilisation d'un peigne robotisé ou un système apportant de la chaleur au chien.

L'utilisation de la vue du chien n'a pas été étudiée, cependant un système de guidage par laser a été envisagé. Les chiens sont, en effet, très sensibles à ce type de stimuli, chez certains chiens tellement sensibles qu'il faudrait s'assurer que le chien reste attentif à son environnement.

La dernière version du collier connecté comporte de nombreuses fonctionnalités et le collier est reconfigurable. Dans l'état, le collier est une bonne plateforme de développement pour de futures recherches en Interaction Animal Machine. Une des perspectives qu'offre ce collier est la combinaison des informations venant des trois capteurs présents, le GPS, la centrale inertielle et le microphone, afin de mieux comprendre la situation du chien. Une fois cette détection suffisamment fiable, l'étape suivante serait de permettre au système de fonctionner en boucle fermée sans l'intervention de l'homme. Le collier donne des commandes au chien en fonction des informations de ses capteurs. Par exemple, une fonctionnalité de maintien en position est actuellement en développement. La fonctionnalité permettra au collier de donner automatiquement la commande si le chien tente de bouger. On peut également étendre ce type d'autonomie pour faire revenir le chien lorsqu'il est en dehors d'une

zone non autorisée. Cette dernière fonctionnalité pourrait offrir un guidage automatique du chien sur des parcours, par exemple pour des personnes non-voyantes ou des personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

Une autre fonctionnalité intéressante pour les chiens d'assistance est le système d'alerte, proposé par un des scénarios de [Vernay et al., 2011]. La personne en situation de handicap est tombée, le chien s'assoie à côté de son maître et se met à aboyer pour attirer l'attention des personnes à proximité. Le collier pourrait détecter cette situation et alerter automatiquement une tierce personne afin de s'assurer que le maître en difficulté reçoive de l'aide.

INTERFACE MOBILE ACCESSIBLE Concernant l'interface au niveau de la personne en situation de handicap, l'utilisation de la reconnaissance vocale serait intéressante. Premièrement pour les personnes dont l'utilisation d'un écran tactile reste difficile. Deuxièmement, le scénario suivant est envisageable : la personne exprime une commande imparfaite, incomplète ou avec une mauvaise intonation, le système détecte quand même la commande et joue la commande "parfaite" préenregistrée.

Un point soulevé durant les expérimentations est que pour certaines personnes l'utilisation du tactile n'est pas appropriée. Ces personnes ont cependant expliqué qu'un système à base de boutons physiques serait plus adapté. Il serait intéressant de développer une telle interface de pilotage pour le collier pour vérifier cette hypothèse.

III.3

COMMUNICATIONS SUR LE PROJET ANR COCHISE

III.3.1 SCIENTIFIQUE

- [1] Germain Lemasson, Philippe Lucidarme, Dominique Duhaut. Real-time detection of the activity of a dog. *International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2016)*, Juil. 2013, Sydney, Australie.
- [2] Germain Lemasson, Marine Grandgeorge. Interaction augmentée entre un chien et son maître. *Intercompréhension de l'intraspécifique à l'interspécifique*, Sep. 2013, Lorient, France.
- [3] Germain Lemasson, Sylvie Pesty, Dominique Duhaut. Increasing communication between a man and a dog. *Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2013)*, Dec. 2013, Budapest, Hongrie.
- [4] Germain Lemasson, Philippe Lucidarme, Sylvie Pesty, Dominique Duhaut. Augmented collar for assistance dog. *Workshop : ACI 2014 : Pushing Boundaries Beyond Human, NordiCHI'14*, Oct. 2014, Helsinki, Finlande.
- [5] Germain Lemasson, Sylvie Pesty, Dominique Duhaut. A Connected Collar for Human-Dog Interaction. *Workshop : ACI@BHCI, British HCI 2015*, Juil. 2015, Lincoln, UK.
- [6] Dominique Duhaut, Germain Lemasson, Sylvie Pesty, Marie Chaffraix, Didier Vernay, Phillipe Lucidarme Study of service dogs' education with an electronic collar. In *2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2016)*, Mai 2016, Sarajevo, Bosnie-Herzégovine.
- [7] Germain Lemasson, Sylvie Pesty, Dominique Duhaut. A Connected Collar for Human-Dog Interaction. *12th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2016)*, Aout 2016, Texas, USA.

III.3.2 PRESSE

- Lorient : Quand robot et chien mêlent leurs compétences. Ouest France, 24 septembre 2014, http://www.lorient.maville.com/actu/actudet_-lorient-quand-robot-et-chien-melent-leurs-competences_fil-2625656_actu.Htm

- Lorient. Handicap : Un collier "intelligent" pour les chiens d'assistance voit le jour. Télégramme, 24 septembre 2014, http://videos.letelegramme.fr/videos/v/detail/x26jy7f_lorient-handicap-un-collier-intelligent-pour-les-chiens-d-assistance-voit-le-jou-news
- Un "collier intelligent" pour les chiens d'assistance prochainement testé à Lorient. ANR, 8 octobre 2014, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/informations/actualites/detail/un-collier-intelligent-pour-les-chiens-d-assistance-prochainement-teste-a-lorient>
- Chien connecté pour personnes handicapées. Tébésud, 4 mai 2016, <http://www.tebesud.fr/?mode=numEmission&id=101716>
- Des chiens hyperconnectés. Espace des Sciences, Mai 2016, <http://www.espace-sciences.org/sciences-ouest/342/actualite/des-chiens-hyperconnectes>

III.4

BIBLIOGRAPHIE

- [30 Millions d'amis, 2013] 30 Millions d'amis (2013). Pour une évolution du régime juridique de l'animal dans le code civil reconnaissant sa nature d'être sensible.
- [Alcacidinho et al., 2014] Alcacidinho, J., Valentin, G., Yoder, N., Tai, S., Mundell, P., and Jackson, M. (2014). Assessment of Working Dog Suitability from Quantimetric Data. In *Nordi'CHI 2014*, Helsinki.
- [Anthony et al., 2013] Anthony, L., Kim, Y., and Findlater, L. (2013). Analyzing User-generated Youtube Videos to Understand Touchscreen Use by People with Motor Impairments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pages 1223–1232, New York, NY, USA. ACM.
- [A.P.F., 2002] A.P.F., A. d. P. d. F. A. P. (2002). *Déficiences motrices et situations de handicaps : Aspects sociaux, psychologiques, médicaux, techniques, troubles associés*. APF, Paris.
- [Bastien et al., 1993] Bastien, J. C. and Scapin, D. L. (1993). Ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces. Technical Report RT-0156, INRIA.
- [Bracewell, 1965] Bracewell, R. N. (1965). *The Fourier Transform and Its Applications*.
- [Britt et al., 2010] Britt, W. R., Miller, J., Waggoner, P., Bevely, D. M., and Hamilton, J. A. (2010). An embedded system for real-time navigation and remote command of a trained canine. *Personal and Ubiquitous Computing*, 15(1) :61–74.
- [Brugarolas et al., 2012] Brugarolas, R., Roberts, D., Sherman, B., and Bozkurt, A. (2012). Posture estimation for a canine machine interface based training system. In *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pages 4489–4492.
- [Brugarolas et al., 2013] Brugarolas, R., Roberts, D., Sherman, B., and Bozkurt, A. (2013). Machine learning based posture estimation for a wireless canine machine interface. In *2013 IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems (BioWireleSS)*, pages 10–12.
- [Cheok et al., 2011] Cheok, A. D., Tan, R. T. K. C., Peiris, R. L., Fernando, O. N. N., Soon, J. T. K., Wijesena, I. J. P., and Sen, J. Y. P. (2011). Metazoa Ludens : Mixed-Reality Interaction and Play for Small Pets and Humans. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A : Systems and Humans*, 41(5) :876–891.
- [Costa-Cunha et al., 2003] Costa-Cunha, P. and Mackay, W. (2003). Augmented paper and Anoto stylus. pages 232–235. ACM Press.

- [De Jong et al., 2003] De Jong, W., Finnema, A., and J. Reinemann, D. (2003). Survey of Management Practices of Farms Using Automatic Milking Systems in North America.
- [Dechambre, 1971] Dechambre, E. (1971). *Les chiens : origines, histoire évolution*. Presses universitaires de France.
- [Duncan et al., 1987] Duncan, I. and Kite, V. (1987). Some investigations into motivation in the domestic fowl. *Applied Animal Behaviour Science*, pages 387–388.
- [Dupuy-Chessa et al., 2011] Dupuy-Chessa, S., Mandran, N., Godet-Bar, G., and Rieu, D. (2011). A Case Study for Improving a Collaborative Design Process. In Ralyté, J., Mirbel, I., and Deneckère, R., editors, *Engineering Methods in the Service-Oriented Context*, volume 351, pages 97–101. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [Ferworn et al., 2007] Ferworn, A., Sadeghian, A., Barnum, K., Ostrom, D., Rahnama, H., and Woungang, I. (2007). Canine as Robot in Directed Search. In *IEEE International Conference on System of Systems Engineering, 2007. SoSE '07*, pages 1–5.
- [Ferworn et al., 2006] Ferworn, A., Sadeghian, A., Barnum, K., Rahnama, H., Pham, H., Erickson, C., Ostrom, D., and Dell’Agnese, L. (2006). Urban search and rescue with canine augmentation technology. In *2006 IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering*, pages 5 pp.–.
- [Findlater et al., 2010] Findlater, L., Jansen, A., Shinohara, K., Dixon, M., Kamb, P., Rakita, J., and Wobbrock, J. O. (2010). Enhanced Area Cursors : Reducing Fine Pointing Demands for People with Motor Impairments. In *Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '10*, pages 153–162, New York, NY, USA. ACM.
- [Gaunet, 2011] Gaunet, F. (2011). Les aboiements des chiens ont-ils un sens ? http://www.avarefuge76.com/_media/files/Les.aboiements.des.chiens.ont.ils.un.sens_.pdf.
- [Gips et al., 2005] Gips, J., Fields, N., Liang, P., and Pilpré, A. (2005). SNIF social networking in fur. page 1391. ACM Press.
- [Glavany et al., 2014] Glavany, Capdevielle, and Untermaier (2014). Modernisation et simplification du droit dans les domaines de la justice et des affaires intérieures. <http://www.assemblee-nationale.fr/14/amendements/1808/AN/59.asp>.
- [Guerreiro et al., 2010] Guerreiro, T. J. V., Nicolau, H., Jorge, J., and Gonçalves, D. (2010). Assessing Mobile Touch Interfaces for Tetraplegics. In *Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '10*, pages 31–34, New York, NY, USA. ACM.
- [Hazekamp et al., 2009] Hazekamp, A. A. H., Mayer, R., and Osinga, N. (2009). Flow simulation along a seal : the impact of an external device. *European Journal of Wildlife Research*, 56(2) :131–140.
- [Irwin et al., 2012] Irwin, C. B. and Sesto, M. E. (2012). Performance and touch characteristics of disabled and non-disabled participants during a reciprocal tapping task using touch screen technology. *Applied Ergonomics*, 43(6) :1038–1043.

- [Jackson et al., 2013] Jackson, M. M., Kshirsagar, Y., Starner, T., Zeagler, C., Valentin, G., Martin, A., Martin, V., Delawalla, A., Blount, W., Eiring, S., and Hollis, R. (2013). FIDO - facilitating interactions for dogs with occupations : wearable dog-activated interfaces. page 81. ACM Press.
- [Kane et al., 2009] Kane, S. K., Jayant, C., Wobbrock, J. O., and Ladner, R. E. (2009). Freedom to roam : a study of mobile device adoption and accessibility for people with visual and motor disabilities. page 115. ACM Press.
- [Ladha et al., 2013] Ladha, C., Hammerla, N., Hughes, E., Olivier, P., and Ploetz, T. (2013). Dog's Life : Wearable Activity Recognition for Dogs. In *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp '13*, pages 415–418, New York, NY, USA. ACM.
- [Lee et al., 2006] Lee, P., Cheok, D., James, S., Debra, L., Jie, W., Chuang, W., and Farbiz, F. (2006). A Mobile Pet Wearable Computer and Mixed Reality System for Human-Poultry Interaction Through the Internet. *Personal Ubiquitous Comput.*, 10(5) :301–317.
- [Lehtonen, 2013] Lehtonen, J. (2013). *Designing features for FIDO : What makes animal-computer interaction so different from human-computer interaction ?* PhD thesis, University of Jyväskylä.
- [Mancini, 2011] Mancini, C. (2011). Animal-computer interaction : a manifesto. *interactions*, 18(4) :69.
- [Mancini et al., 2015] Mancini, C., Harris, R., Aengenheister, B., and Guest, C. (2015). Re-Centering Multispecies Practices : A Canine Interface for Cancer Detection Dogs. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '15*, pages 2673–2682, New York, NY, USA. ACM.
- [Mauriès, 2015] Mauriès, J.-P. (2015). Vetopsy.fr.
- [Miklosi, 2008] Miklosi, A. (2008). Premier Colloque International de Sciences Canines. http://www.sfcyno.com/img/pdf/Budapest%20compte_rendu.pdf.
- [Miller, 2010] Miller, J. D. (2010). A Maximum Effort Control System for the Tracking and Control of a Guided Canine.
- [Paasovaara et al., 2011] Paasovaara, S., Paldanius, M., Saarinen, P., Häkkinen, J., and Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2011). The secret life of my dog : design and evaluation of paw tracker concept. page 231. ACM Press.
- [Paldanius et al., 2011] Paldanius, M., Kärkkäinen, T., Väänänen-Vainio-Mattila, K., Juhlin, O., and Häkkinen, J. (2011). Communication technology for human-dog interaction : exploration of dog owners' experiences and expectations. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11*, pages 2641–2650, New York, NY, USA. ACM.
- [Pesty et al., 2011] Pesty, S. and Duhaut, D. (2011). Acceptability in interaction - From robots to Embodied Conversational Agent. In *Computer graphics theory and applications*, Algarve, Portugal.

- [Postel-Vinay, 2004] Postel-Vinay, O. (2004). Le chien, une énigme biologique. (375) :30.
- [Quinlan, 1993] Quinlan, J. R. (1993). *C4.5 : programs for machine learning*. The Morgan Kaufmann series in machine learning. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, Calif.
- [Ribeiro et al., 2009] Ribeiro, C., Ferworn, A., Denko, M., and Tran, J. (2009). Canine Pose Estimation : A Computing for Public Safety Solution. In *Canadian Conference on Computer and Robot Vision, 2009. CRV '09*, pages 37–44.
- [Ribeiro et al., 2008] Ribeiro, C., Ferworn, A., Denko, M., Tran, J., and Mawson, C. (2008). Wireless estimation of canine pose for search and rescue. In *IEEE International Conference on System of Systems Engineering, 2008. SoSE '08*, pages 1–6.
- [Savage et al., 2000] Savage, J., Sanchez-Guzman, R., Mayol-Cuevas, W., Arce, L., Hernandez, A., Brier, L., Martinez, F., Velazquez, A., and Lopez, G. (2000). Animal-machine interfaces. pages 191–192. IEEE Comput. Soc.
- [Savolainen et al., 2002] Savolainen, P., Zhang, Y.-p., Luo, J., Lundeberg, J., and Leitner, T. (2002). Genetic Evidence for an East Asian Origin of Domestic Dogs. *Science*, 298(5598) :1610–1613.
- [Schweller, 2012] Schweller, K. (2012). Apes with apps. *IEEE Spectrum*, 49(7) :38–45.
- [Shannon, 1949] Shannon, C. E. (1949). Communication in the Presence of Noise. *Proceedings of the IRE*, 37(1) :10–21.
- [Tran et al., 2008] Tran, J., Ferworn, A., Ribeiro, C., and Denko, M. (2008). Enhancing canine disaster search. In *IEEE International Conference on System of Systems Engineering, 2008. SoSE '08*, pages 1–5.
- [Trewin et al., 2013] Trewin, S., Swart, C., and Pettick, D. (2013). Physical accessibility of touchscreen smartphones. pages 1–8. ACM Press.
- [Valentin, 2014] Valentin, G. (2014). Gestural activity recognition for canine-human communication. pages 145–149. ACM Press.
- [Valentin et al., 2014] Valentin, G., Alcáidinho, J., Freil, L., Zeagler, C., Jackson, M., and Starner, T. (2014). Canine reachability of snout-based wearable inputs. pages 141–142. ACM Press.
- [Vaughan et al., 2000] Vaughan, R., Sumpter, N., Henderson, J., Frost, A., and Cameron, S. (2000). Experiments in automatic flock control. *Robotics and Autonomous Systems*, 31(1–2) :109–117.
- [Vernay et al., 2011] Vernay, D., Rybarczyk, P., Lebrete, M.-C., and Rybarczyk, Y. (2011). Collaboration hommes, chiens et robots : quels scenarios ?
- [Verstockt et al., 2009] Verstockt, S., Decoo, D., Van Nieuwenhuyse, D., De Pauw, F., and Van de Walle, R. (2009). Assistive smartphone for people with special needs : The Personal Social Assistant. pages 331–337. IEEE.
- [Vilà et al., 1997] Vilà, C., Savolainen, P., Maldonado, J. E., Amorim, I. R., Rice, J. E., Honeycutt, R. L., Crandall, K. A., Lundeberg, J., and Wayne, R. K. (1997). Multiple and Ancient Origins of the Domestic Dog. *Science*, 276(5319) :1687–1689.

- [Vääätäjä et al., 2013] Vääätäjä, H. K. and Pesonen, E. K. (2013). Ethical issues and guidelines when conducting HCI studies with animals. page 2159. ACM Press.
- [Weilenmann et al., 2011] Weilenmann, A. and Juhlin, O. (2011). Understanding people and animals : the use of a positioning system in ordinary human-canine interaction. page 2631. ACM Press.
- [Yin et al., 2004] Yin, S. and McCowan, B. (2004). Barking in domestic dogs : context specificity and individual identification. *Animal Behaviour*, 68(2) :343–355.
- [Zeagler et al., 2014] Zeagler, C., Gilliland, S., Freil, L., Starner, T., and Jackson, M. (2014). Going to the Dogs : Towards an Interactive Touchscreen Interface for Working Dogs. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '14, pages 497–507, New York, NY, USA. ACM.
- [Zhong et al., 2015] Zhong, Y., Weber, A., Burkhardt, C., Weaver, P., and Bigham, J. P. (2015). Enhancing Android Accessibility for Users with Hand Tremor by Reducing Fine Pointing and Steady Tapping. In *Proceedings of the 12th Web for All Conference*, W4A '15, pages 29 :1–29 :10, New York, NY, USA. ACM.

Quatrième partie

ANNEXES

PROTOTYPES TACTILES ET EXPÉRIMENTATIONS EN LABORATOIRE

L'étude préliminaire sur le toucher à montrer que la vibration est perçue par le chien. Nous souhaitons avoir une interaction plus riche que les vibrations notamment dans le but d'offrir une récompense tactile au chien. Nous avons donc poursuivi les expérimentations sur le sens complexe du toucher. Les sections suivantes présentent les différents prototypes tactiles développés.

A.1 HARNAIS ACOUSTIQUE

Le premier prototype de caresse développé est basé sur des technologies acoustiques. Le principe général est le suivant : un son est une vibration et de nombreux outils permettent de manipuler le son, il est donc possible d'utiliser ces outils dans une certaine mesure pour manipuler les vibrations. Le prototype utilise les mêmes excitateurs audio utilisés dans le collier version 1 (cf. section II.2.3). Les excitateurs audio, pilotés à haute fréquence, produisent du son et piloté à basse fréquence, inférieure à 50Hz, produisent des vibrations.

La Figure 49a présente les deux parties principales du prototype. La partie inférieure en blanc est une surface plane dans laquelle huit microphones sont insérés. Elle est manipulée par un utilisateur humain produisant la stimulation. La partie supérieure est composée de huit excitateurs audio fixés sur un tissu souple. Elle est appliquée sur le receveur de la stimulation.

Le principe est d'enregistrer les vibrations générées par des mouvements sur une surface et de les régénérer sur une seconde surface souple.

Les huit microphones sont disposés à intervalle régulier dans un support permettant d'enregistrer les vibrations générées par les mouvements sur ce support. Quatre cartes son stéréo sont utilisées. Les flux audio sont envoyés sur un ordinateur qui filtre et retire les fréquences trop hautes engendrant du son et non des vibrations. Ensuite les flux sont amplifiés par quatre mini amplificateurs stéréo connectés aux excitateurs.

Le second intérêt de ce prototype vient de l'utilisation du format audio. En effet, cela donne la possibilité d'enregistrer les vibrations d'un mouvement, stimulus, au format audio et de pouvoir le rejouer ultérieurement. Cela peut permettre de rejouer un stimulus à distance de la même manière que les commandes vocales préenregistrées du collier.

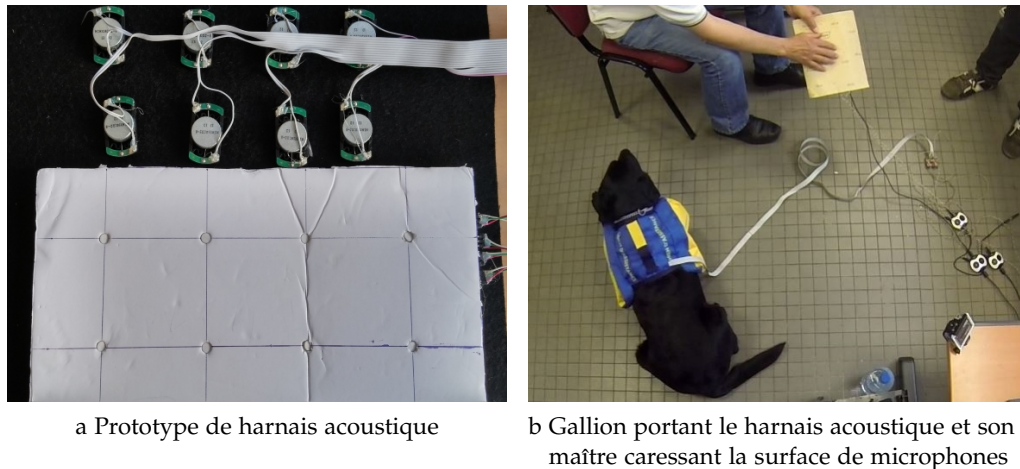


FIGURE 49. – Harnais acoustique

Deux expériences ont été réalisées, l’une avec des humains et l’autre avec des chiens. Dans l’expérience avec les humains, nous avons demandé à quatre personnes de porter la ceinture contenant la grille d’excitateurs. La grille est placée sur le côté du flanc. Une seconde personne frotte, tapote ou chatouille la grille de microphones. Les personnes portant la grille d’excitateur ont exprimé que la sensation était agréable et réaliste par rapport à un stimulus humain. Le frottement ne se ressent pas comme un frottement issu d’un contact physique, mais ils ont trouvé le déplacement de la sensation intéressante. D’un autre côté, le tapotement et le chatouillement étaient tout à fait réalistes. L’utilisation d’une grille de huit éléments (micros/excitateurs) permet une spatialisation de la sensation notamment avec des mouvements de va-et-vient sur la surface ce qui a été clairement ressenti par les personnes testant le prototype. Le prototype a ensuite été testé sur trois chiens. Une première expérience en laboratoire avec un chien prêté par Handi’Chiens (Gallion). Une seconde expérience, au centre Handi’Chiens Alençon, avec deux chiens d’assistance. Cette expérience a eu lieu en fin d’une séance d’expérimentation du collier version 1. La grille d’excitateurs est placée à l’intérieur d’un harnais Handi’Chiens. La Figure 49b est une photo de l’expérimentation en laboratoire, Gallion porte le harnais et les gestes du maître sont directement rejoués sur le harnais. Les expérimentations ont été enregistrées afin d’observer les réactions des chiens. Pendant les expérimentations les chiens n’ont montré aucun signe de désagrément et semblaient détendus. Le maître du chien de Gallion et les éducateurs des deux chiens d’assistance n’ont remarqué aucune réaction de la part de leurs chiens respectifs. Ils n’ont pu déterminer si les chiens appréciaient ou non les stimuli du harnais. Cette expérience amène à la question suivante : “Comment déterminer si le chien apprécie le stimulus tactile?”. Dans le cas d’un désagrément, cela se traduit par un mouvement de fuite cependant le cas de l’attrait est plus compliqué. [Lee et al., 2006] utilise la méthode Duncan vue précédemment, qui laisse le choix à l’animal entre deux portes. Cependant, cette méthode a ses défauts surtout avec des chiens d’assistance qui cherche le contact humain.

Malgré ce résultat décevant concernant les chiens, le principe a donné de bons résultats chez l'homme, mais ce développement a été abandonné faute de résultats probants sur le chien.

A.2 BRAS MÉCANIQUE

Afin de caresser un chien, un bras mécanique a été envisagé. Un prototype a été développé qui est composé de deux bras composés eux-mêmes de 3 servomoteurs numériques (3 Dynamixel RX-28 et 3 Dynamixel MX-28) (cf. en bas à gauche sur la Figure 50a). Une personne actionne le premier bras et le mouvement est reproduit à l'identique sur le second bras. Un peigne est fixé sur le second bras. Cependant avant de monter le prototype sur un harnais, deux tests en laboratoire ont été effectués afin d'étudier les réactions de deux chiens face à cette interaction inédite.

Le premier chien testé est positionné devant les bras robotiques, l'expérimentateur (qui est connu du chien) fait bouger les bras devant le chien. La première réaction semble être de la curiosité (cf. Figure 50a). Cependant après que l'expérimentateur a déposé des friandises à côté et sur le bras, le chien mange uniquement les friandises disposées à côté du bras, mais refuse de s'approcher du bras même après plusieurs minutes.

La même expérience est effectuée avec un second chien à la différence que la maîtresse est présente. Lors des premiers mouvements du bras, le chien a un mouvement de recul comme le montre la Figure 50b, puis il détourne également le regard du bras. Le chien est craintif envers le bras même après une à deux minutes durant lesquelles sa maîtresse tente de le rassurer. À la demande de la maîtresse, celle-ci prend le bras en main, la réaction du chien change rapidement, il s'approche et renifle le bras. Le chien se détend et se laisse caresser par le bras tenu par sa maîtresse comme le montre la Figure 50c.

Il faudrait répéter cette expérience avec plusieurs autres chiens, mais cette seconde réaction reste intéressante. Cette solution semble applicable pour un dispositif fixe à côté duquel le chien est invité à se placer. En revanche embarquer un système d'une telle taille semble déraisonnable. Le but du projet ANR Cochise étant un système embarqué les développements dans ce sens ne se sont pas poursuivis.

A.3 HARNAIS MASSAGE

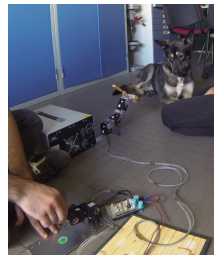
Le troisième prototype de harnais de caresse se base sur une vidéo amateur montrant un petit chien se faisant masser par un masseur de nuque¹. Le prototype que nous avons développé (cf. Figure 51) est constitué d'une plaque de bois en médium découpée au laser afin de la rendre flexible et qu'elle épouse le dos du chien.² Les éléments massant en jaune sur la Figure 51a sont imprimés 3D en plastique ABS. Deux servomoteurs permettent de les actionner. Le prototype est piloté en Bluetooth depuis

1. <https://www.youtube.com/watch?v=ooATf2HR-FA>

2. Le schéma de découpe vient du travail de Greg MC Shane de l'Institut Fourier de Grenoble



a Chien méfiant



b Chien méfiant



c Chien détendu

FIGURE 50. – Bras mécanique

un smartphone. Il est possible de piloter chaque côté séparément. La partie massante est attachée au harnais de Handi'Chiens où sont logées la partie électronique et la batterie.

Le harnais a été testé sur un chien à dominance Labrador, Balzac. La séance a été filmée pour une analyse ultérieure des réactions du chien. Après la pose, le harnais ne semble pas gêner le chien. Cependant au moment où les servomoteurs se sont allumés le chien a tourné la tête vers le harnais et a eu un mouvement de fuite. Sa maîtresse l'a rappelé et demandé de s'asseoir, le chien s'est calmé et n'a plus montré de signe de fuite. Ce comportement est normal, car c'est la première fois qu'il percevait ce type de stimuli. Le sens étudié ici est le toucher, cependant il faut prendre aussi en compte les autres sens et dans ce cas l'ouïe. En effet les servomoteurs émettent un son non négligeable et particulier, il est désagréable à l'oreille humaine, c'est possible qu'il en soit de même à l'oreille canine. Il est difficile de savoir si ce qui a dérangé ou étonné le chien pour ce premier contact est la sensation de toucher, le son ou plus probablement la combinaison des deux. Après une minute Balzac ne semble plus perturbé par le harnais et au contraire il n'y fait plus attention comme le montre la Figure 51c. Les

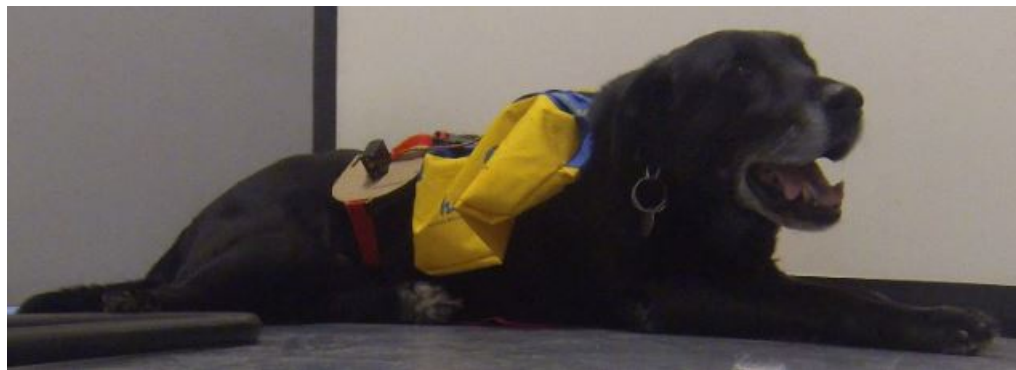
résultats sont sensiblement les mêmes que pour le prototype acoustique. Il est difficile de percevoir une réaction de bien-être, mais le harnais n'est pas dérangeant.



a Éléments massant en jaune



b Harnais de massage extérieur



c Harnais de massage Balzac

FIGURE 51. – Harnais de massage

A.4 HARNAIS ROBOTIQUE

La quatrième tentative a été la création d'un harnais robotique dans le sens où il embarque un robot parallèle. Le principe d'un robot parallèle est que le mobile central est déplacé en coordonnant la traction sur quatre câbles qui l'encadre. L'idée principale est que ce type de robot peut permettre d'avoir plus de liberté de mouvement que les deux prototypes précédents. La principale contrainte du harnais robotique est qu'il se trouve sur le dos d'un chien qui n'est pas une surface plane. Cette contrainte est levée par l'utilisation de câbles flexibles. Un premier prototype sur table a été conçu Figure 52a. De cette manière il est possible d'effectuer n'importe quel déplacement dans l'espace à deux dimensions. Les câbles permettent d'utiliser un plan de déplacement courbé. Sur le prototype sur table un coussin est utilisé pour donner cette surface courbe.

FONCTIONNEMENT EN BOUCLE OUVERTE Afin de réaliser ce prototype, la première étape est le calcul du diamètre des disques permettant d'enrouler les câbles. Chaque disque est piloté par un servomoteur numérique AX12 avec un angle de rotation maximal am de 300 degrés. La zone de déplacement s est de 20 cm et le mobile déplacé m est de 5 cm. Soit p le périmètre des disques. L'équation suivante doit être respectée afin de pouvoir déplacer le mobile dans toute la zone de déplacement : $p \times \frac{am}{360} \geq h$ avec h la diagonale du carré de déplacement $h = \sqrt{(s-m)^2 \times 2}$. d le diamètre des disques $d = \frac{p}{\pi}$. On a donc $d \geq \frac{\sqrt{(s-m)^2 \times 2}}{\pi \times \frac{am}{360}}$. Après résolution le diamètre des disques doit être supérieur ou égal à 8.1 centimètres.

Sur le même principe, pour chaque coordonnée (X, Y) , il est possible de calculer la longueur de chaque câble et donc l'angle de rotation des servomoteurs. Les servomoteurs sont numérotés dans le sens horaire de 1 à 4 et en prenant pour origine du repère le premier servomoteur en bas droite. L'(Equation 1) donne le calcul de l_1, l_2, l_3, l_4 les longueurs des câbles en fonction d'une position (X, Y) . L'(Equation 2) donne le rapport entre l'angle et la longueur. L'(Equation 3) donne le calcul des quatre angles en fonction d'une position (X, Y) .

$$\begin{cases} l_1 = \sqrt{X^2 + Y^2} \\ l_2 = \sqrt{(s-m-X)^2 + Y^2} \\ l_3 = \sqrt{(s-m-X)^2 + (s-m-Y)^2} \\ l_4 = \sqrt{X^2 + (s-m-Y)^2} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} a_i = 0 = l_i \\ a_i = \frac{l_i}{r \times \pi} \times \frac{360}{am} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} a_1 = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{r \times \pi} \times \frac{360}{am} \\ a_2 = \frac{\sqrt{(s-m-X)^2 + Y^2}}{r \times \pi} \times \frac{360}{am} \\ a_3 = \frac{\sqrt{(s-m-X)^2 + (s-m-Y)^2}}{r \times \pi} \times \frac{360}{am} \\ a_4 = \frac{\sqrt{X^2 + (s-m-Y)^2}}{r \times \pi} \times \frac{360}{am} \end{cases} \quad (3)$$

Ce système est piloté en Bluetooth depuis un smartphone. Les mouvements effectués sur l'interface sont reproduits sur le système. Ce prototype permet de valider qu'un robot à câbles est adapté pour se déplacer sur une surface convexe. Une étape supplémentaire est nécessaire pour le rendre utilisable. En effet, le prototype est trop volumineux pour être monté sur le dos d'un chien, il faut donc réduire sa taille. Les parties les plus volumineuses sont les disques qui permettent d'enrouler les câbles et connaître la position du mobile. Le premier changement est d'utiliser de petits servomoteurs continus et de les intégrer dans le mobile comme le montre la Figure 52b. Il n'est pas possible de connaître la position de ces moteurs. Plusieurs systèmes ont été envisagés afin de permettre la localisation du mobile afin de créer un système asservi en boucle fermée.

PROBLÈME DE LA LOCALISATION

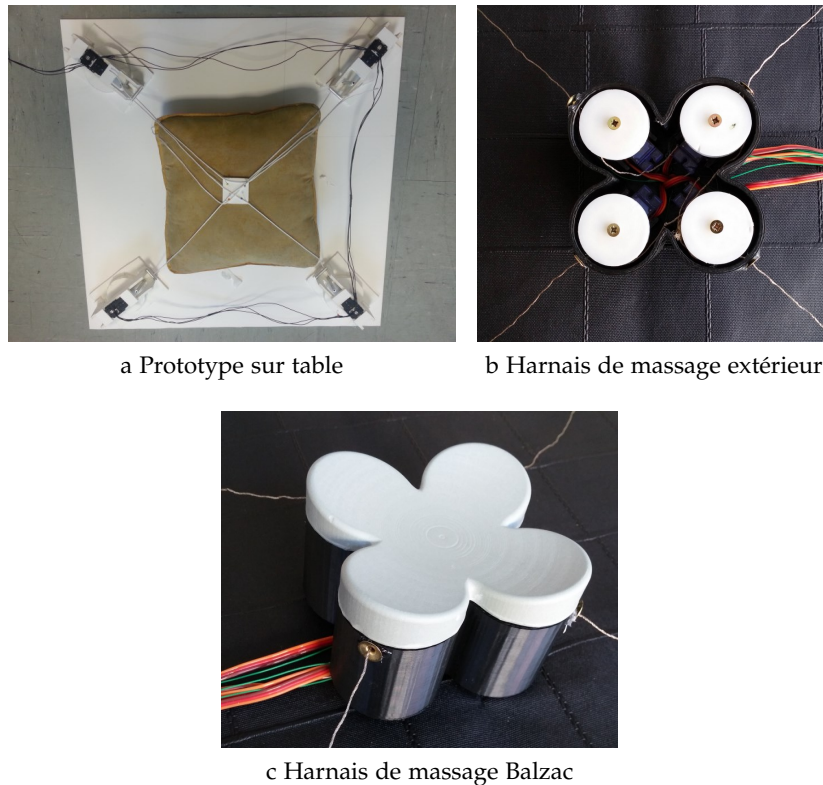


FIGURE 52. – Harnais robotique

- La première solution est l'utilisation de fils résistifs comme câbles de traction. La résistance du fil résistif dépend de la longueur entre les bornes où est appliqué le courant. Une borne est l'extrémité du câble sur la surface de déplacement et la seconde borne est une bague en cuivre au niveau du mobile, visible sur la Figure 52c. De cette manière, il est possible de connaître la longueur de chaque câble et d'en déduire la position du mobile. Cependant, les câbles résistifs testés se sont révélés trop fragiles et ne permettaient pas la traction du mobile. L'autre matériau testé est un fil de couture conductible utilisé dans les objets connectés textiles. Celui-ci est plus solide, cependant sa résistance électrique augmente rapidement avec l'usure (20 Ohms à 200 Ohms après quelques frottements).
- La seconde solution envisagée est l'utilisation d'un damier composé de bandes de cuivre flexibles reliées par des résistances.

Le projet principal étant le collier connecté, ces solutions n'ont pu aboutir par manque de temps. Cependant, plusieurs pistes sont envisageables notamment en utilisant des systèmes de localisation absolue.

- Par vision sur un support codé en utilisant le concept Anoto [Costa-Cunha et al., 2003].
- Gradient de couleur avec capteur et filtre de couleur.

A.5 L'EXPÉRIENCE DE LA CARESSE

Ces expériences n'ont pas été concluantes sur l'aspect de la récompense. La principale cause est la difficulté d'interpréter les réactions du chien.

Ces expérimentations ont cependant montré que ces stimuli ne sont pas dérangeants pour les chiens. Un autre point important est l'aspect nouveau et éphémère de ces expériences. Il faudrait étudier les réactions des chiens sur la durée comme cela a été fait avec les colliers.

RELEVÉS DE L'ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Ci-dessous nous présentons les courbes des mesures effectuées sur le chien qui ont permis de tracer son activité.

Indications pour la lecture des courbes :

- Sur chaque graphique se trouve 2 courbes une bleue et une noire. La noire correspond au Galaxy Note et la bleue au Galaxy S3.
- Pour l'accéléromètre et le gyromètre l'axe Y va de -20 à 20. Pour le magnétomètre il va de -800 à 800.
- Chaque page correspond à un mouvement.
- Chaque ligne correspond à un capteur (acc=accéléromètre, gyro=gyromètre, magne=magnétomètre)
- Chaque colonne correspond à un axe

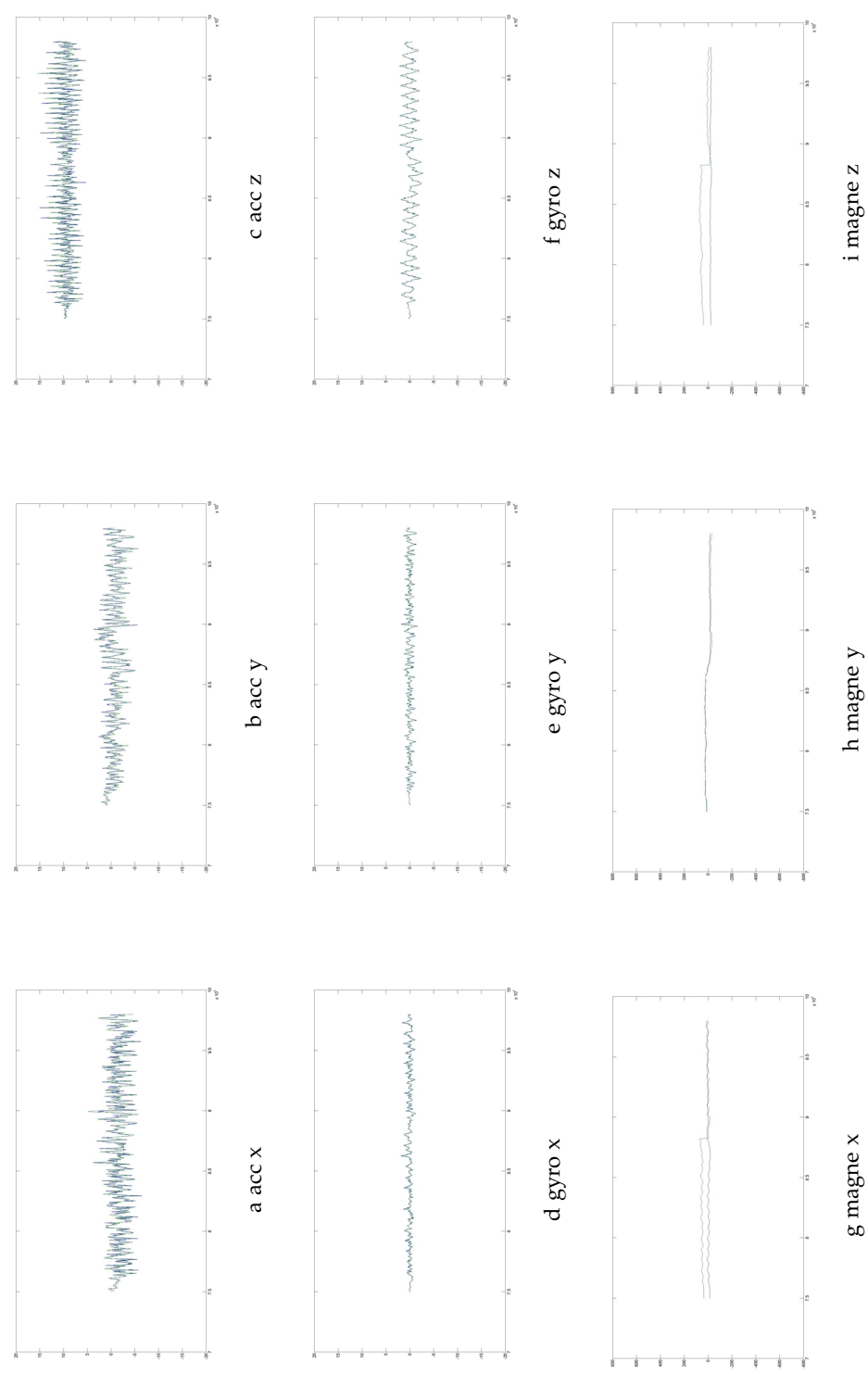


FIGURE 53. – Mouvement : marche

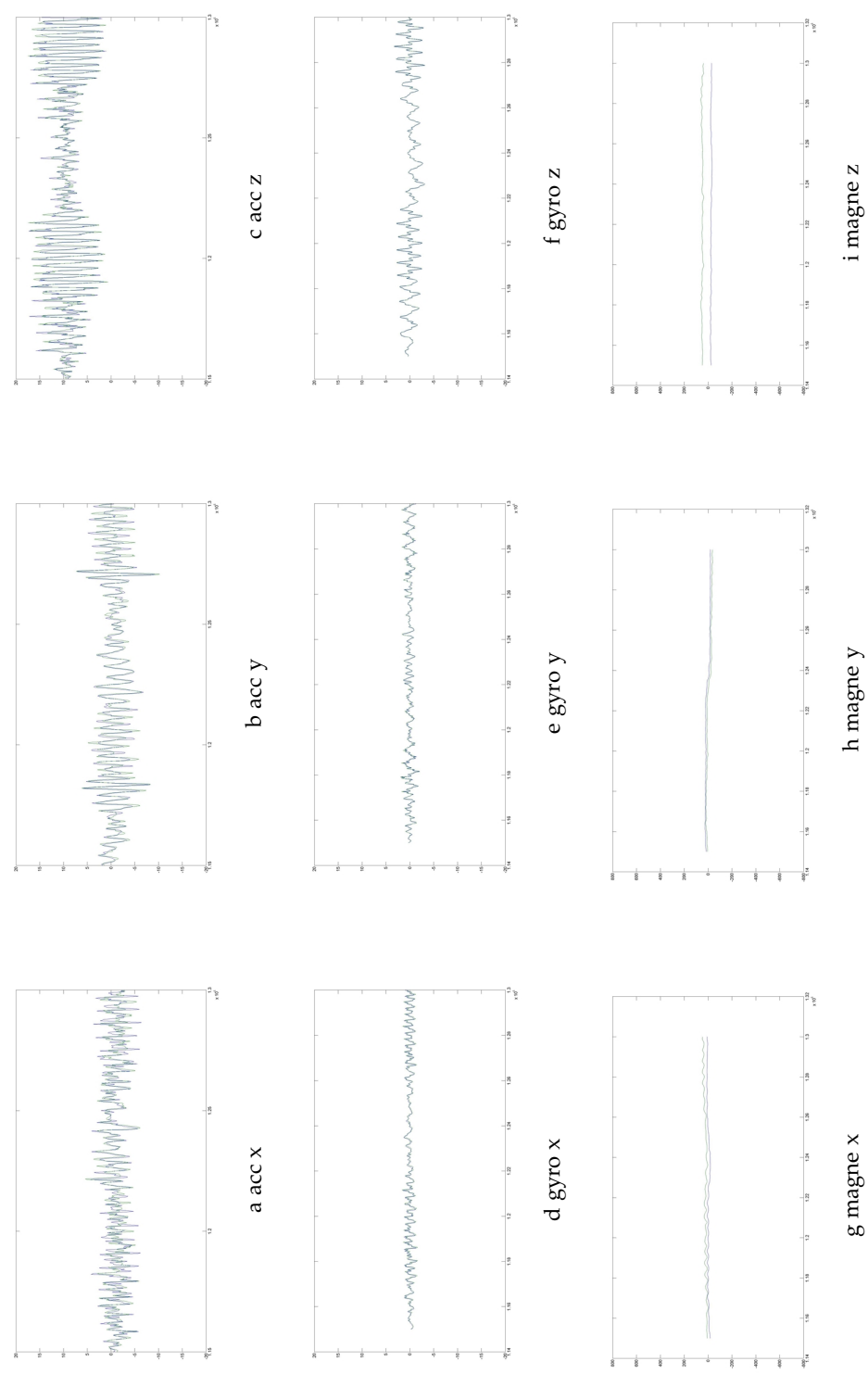


FIGURE 54. – Mouvement : marche rapide

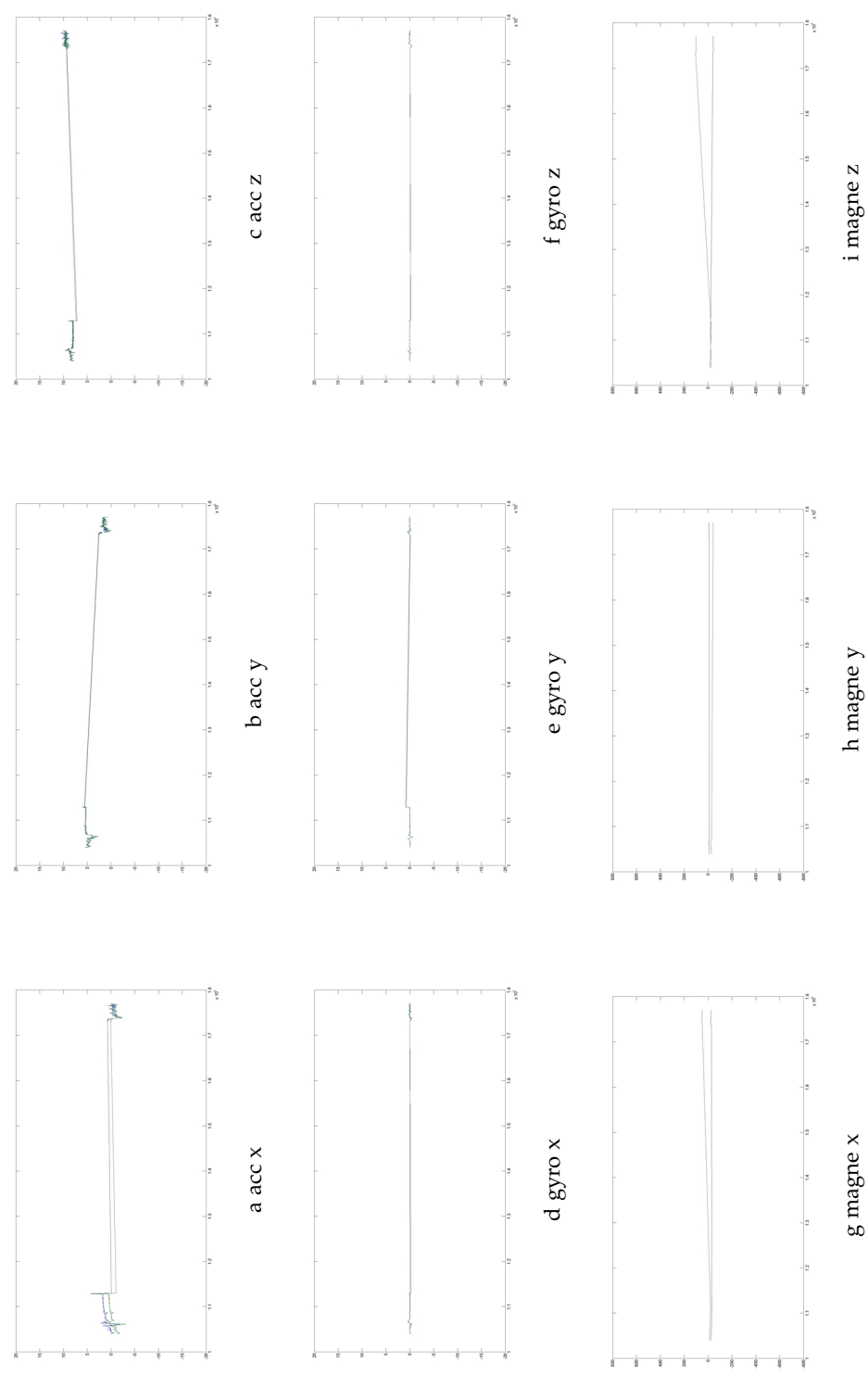


FIGURE 55. – Mouvement : coucher



FIGURE 56. – Mouvement : assis

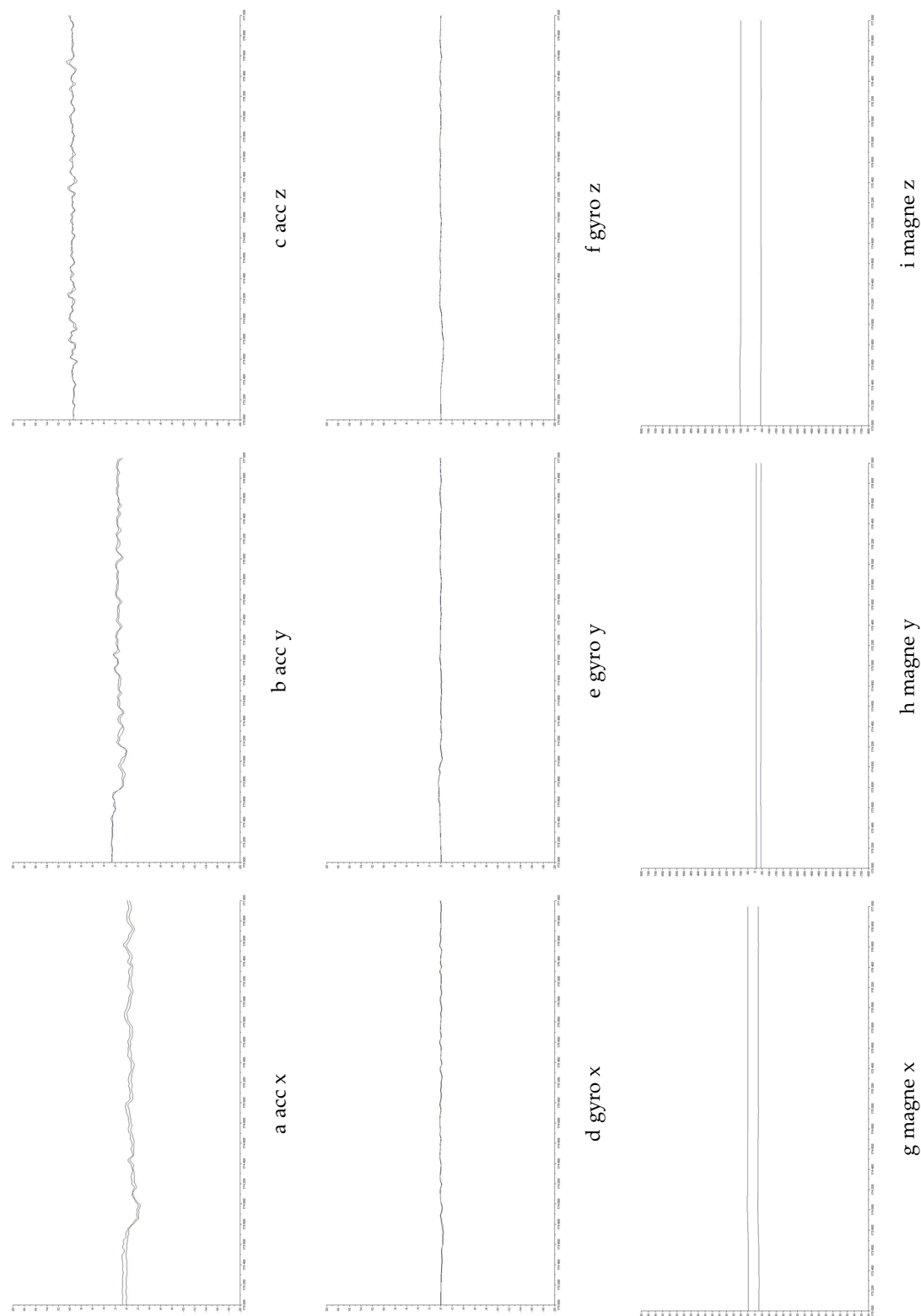


FIGURE 57. – Mouvement : coucher 2

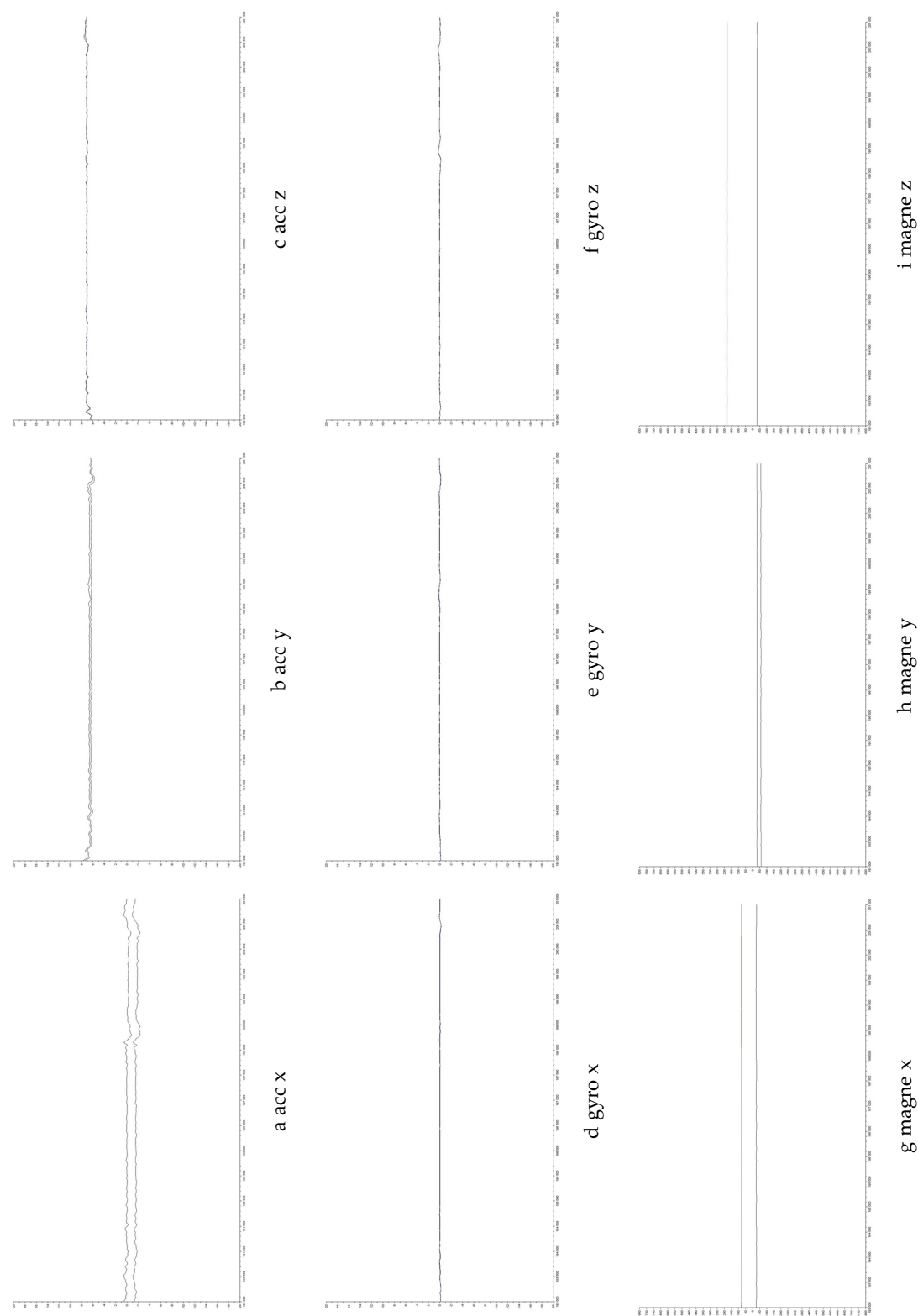


FIGURE 58. – Mouvement : assis 2

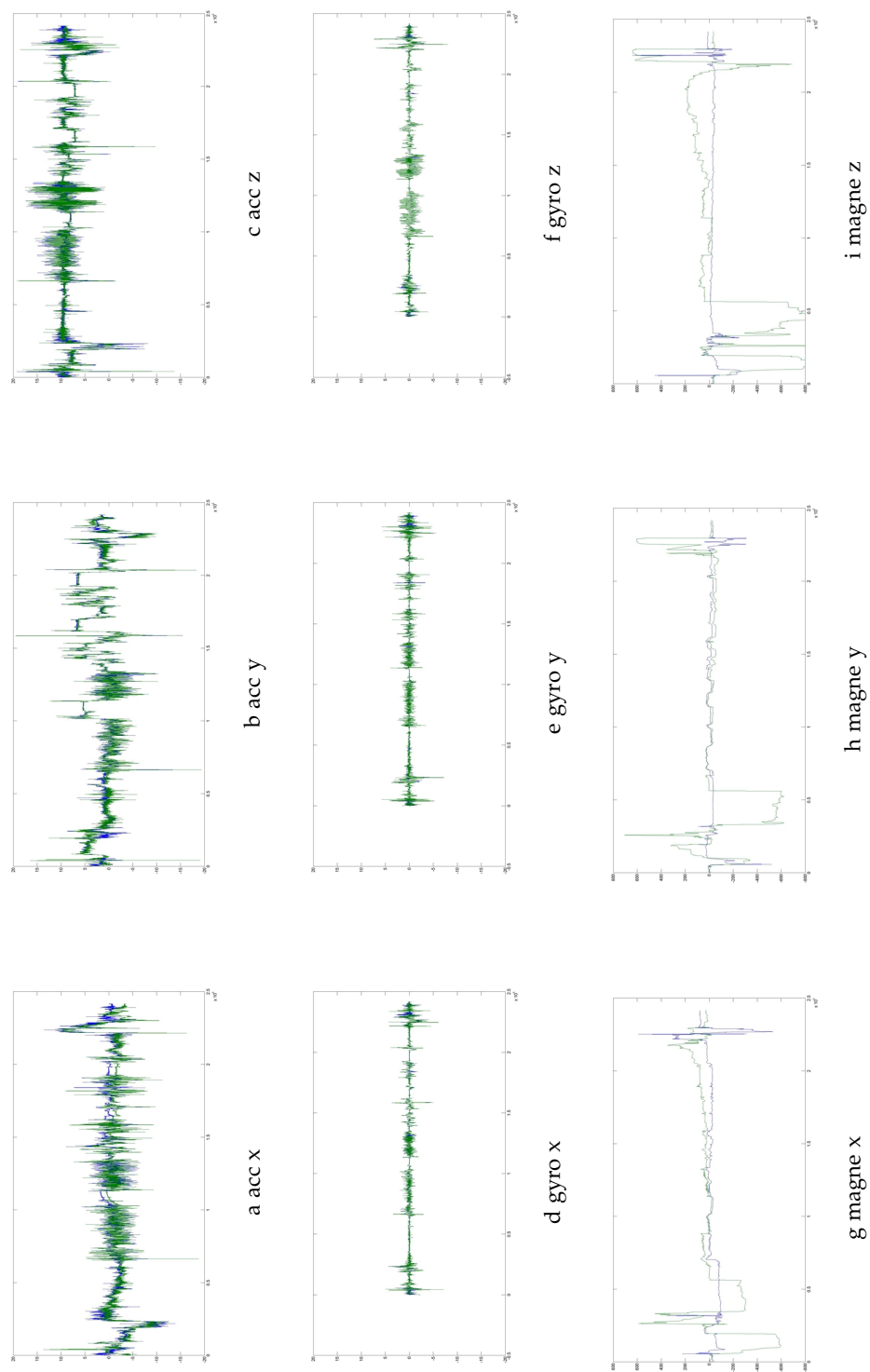


FIGURE 59. – Mouvement : entier

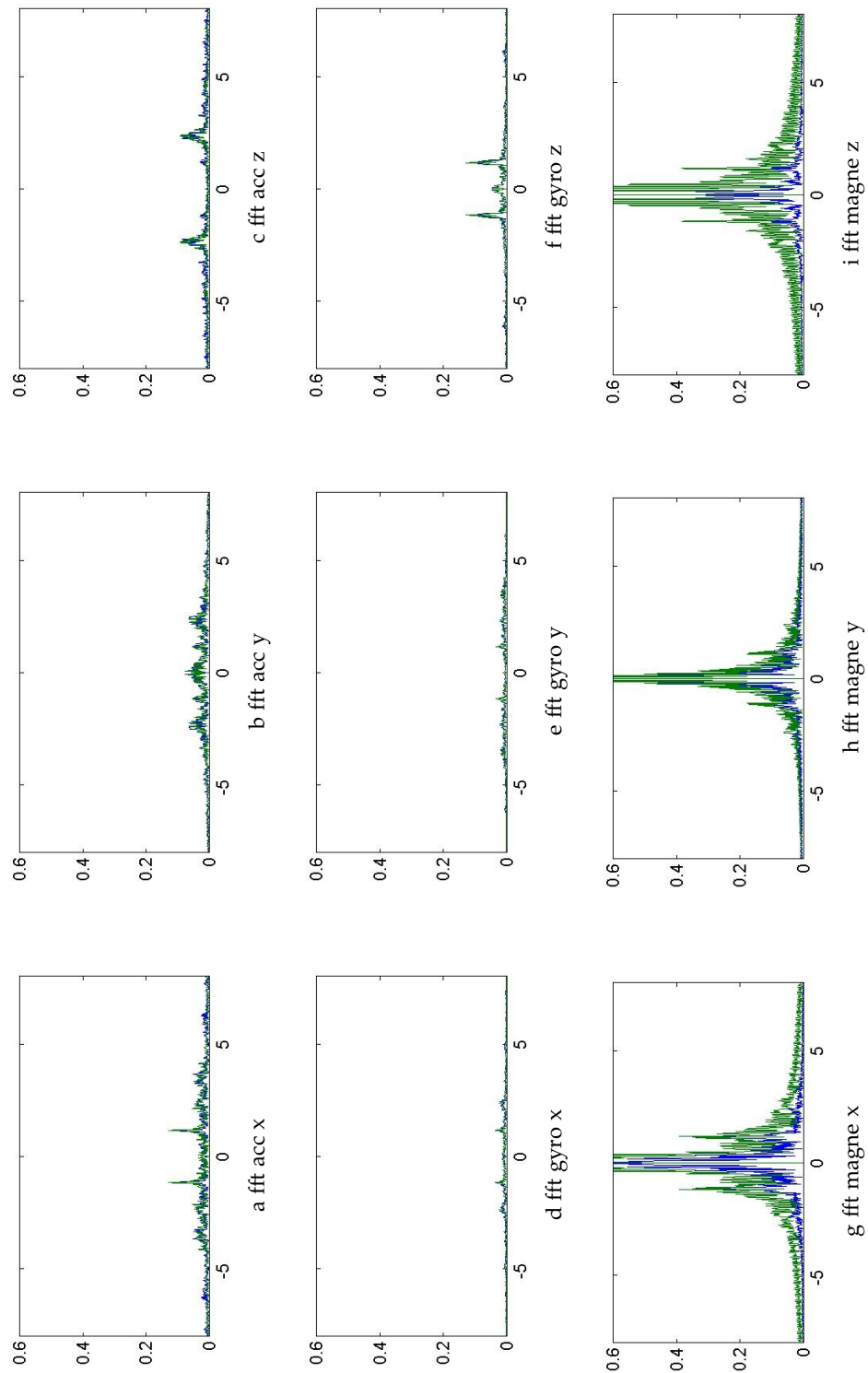


FIGURE 60. – Mouvement : fft marche

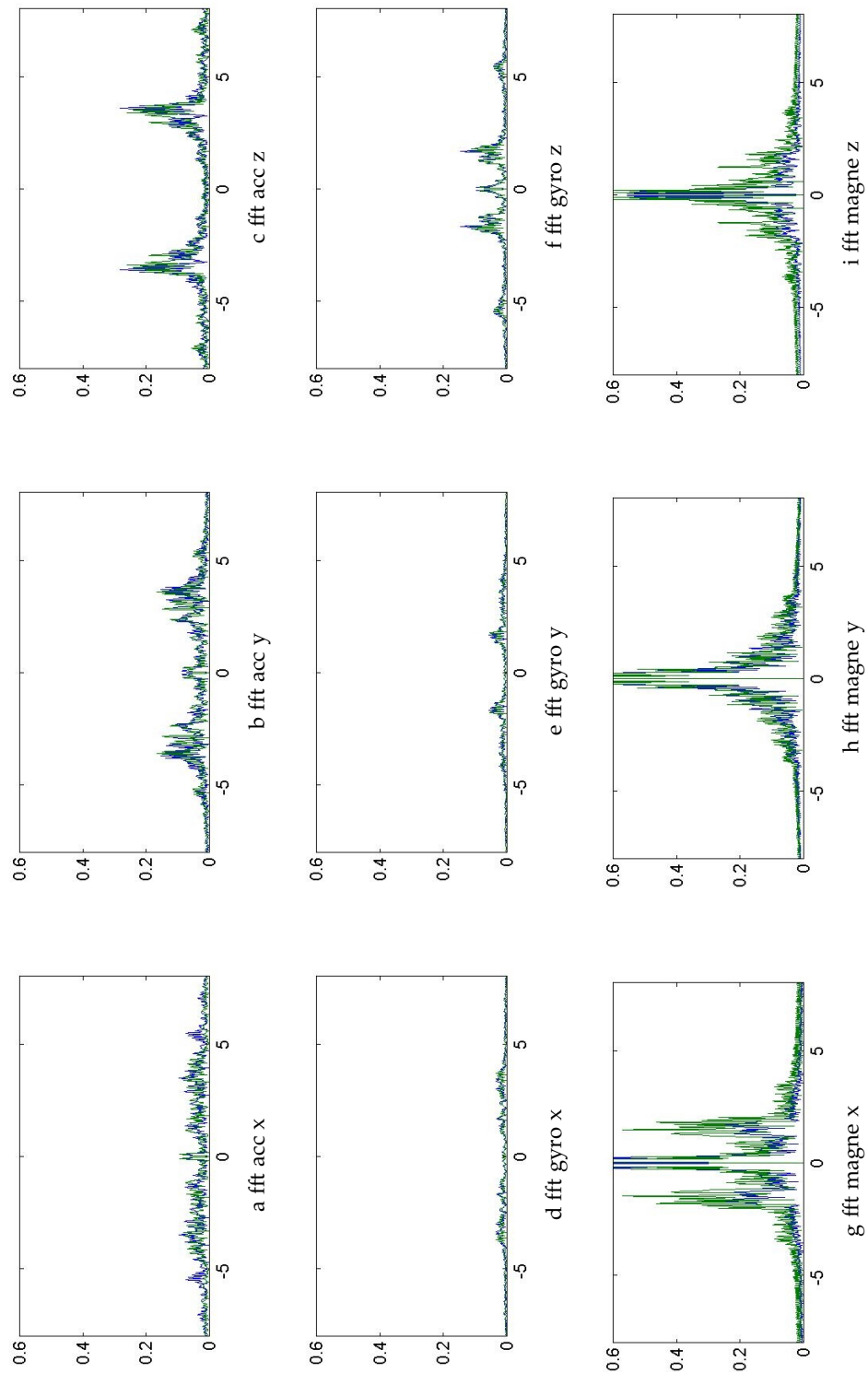


FIGURE 61. – Mouvement : fft marche rapide

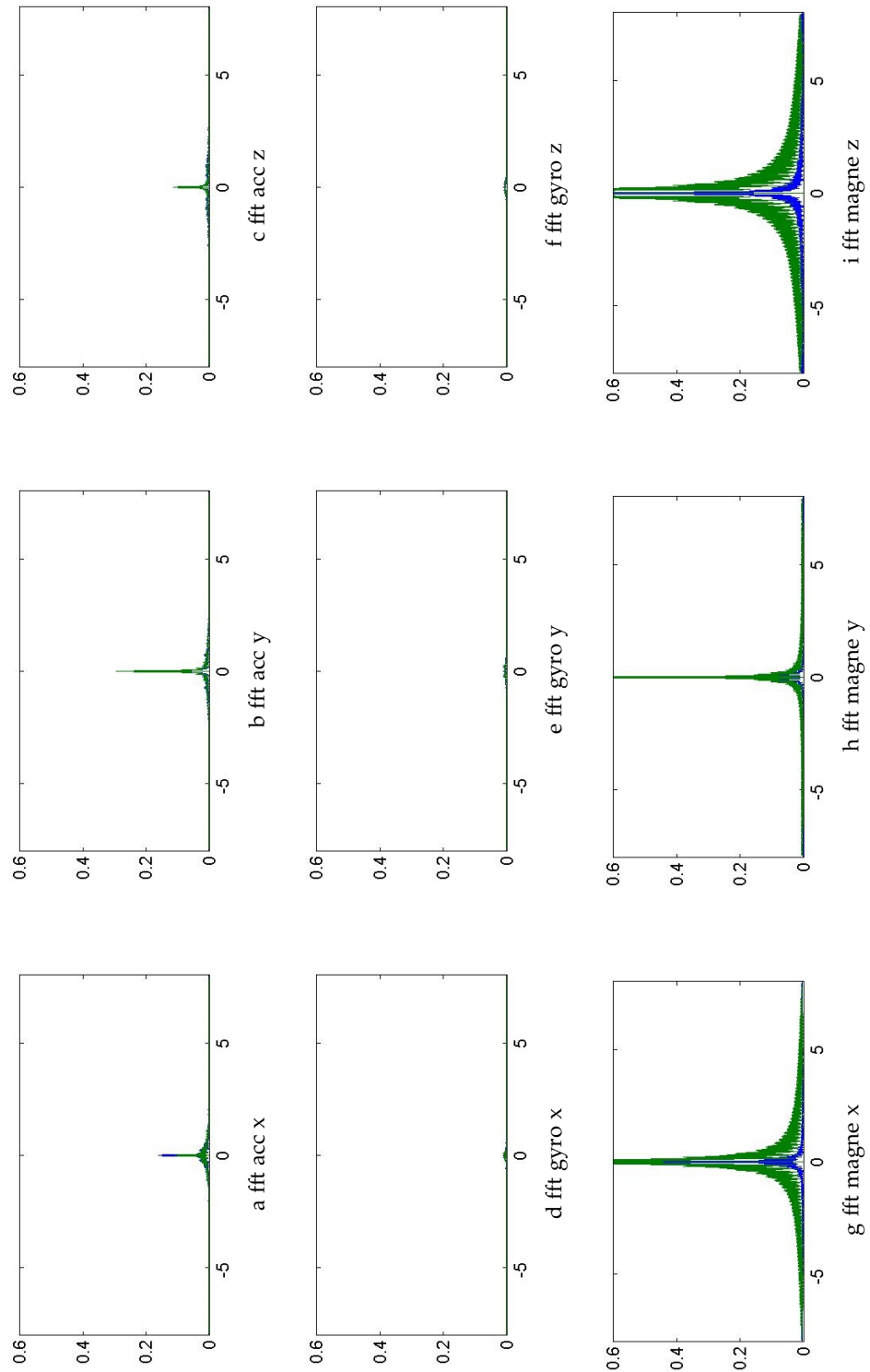


FIGURE 62. – Mouvement : fft coucher

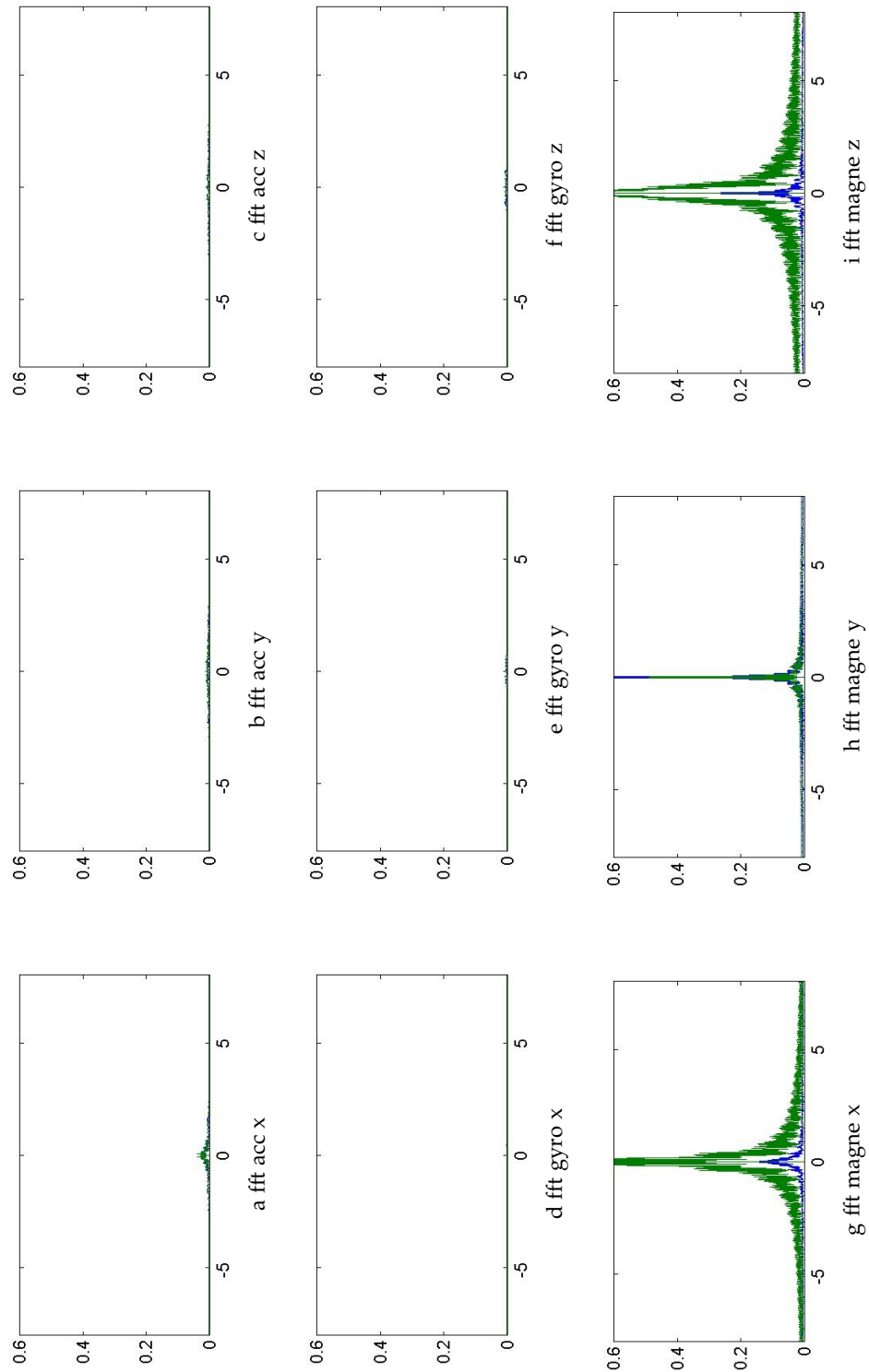


FIGURE 63. – Mouvement : fft assis

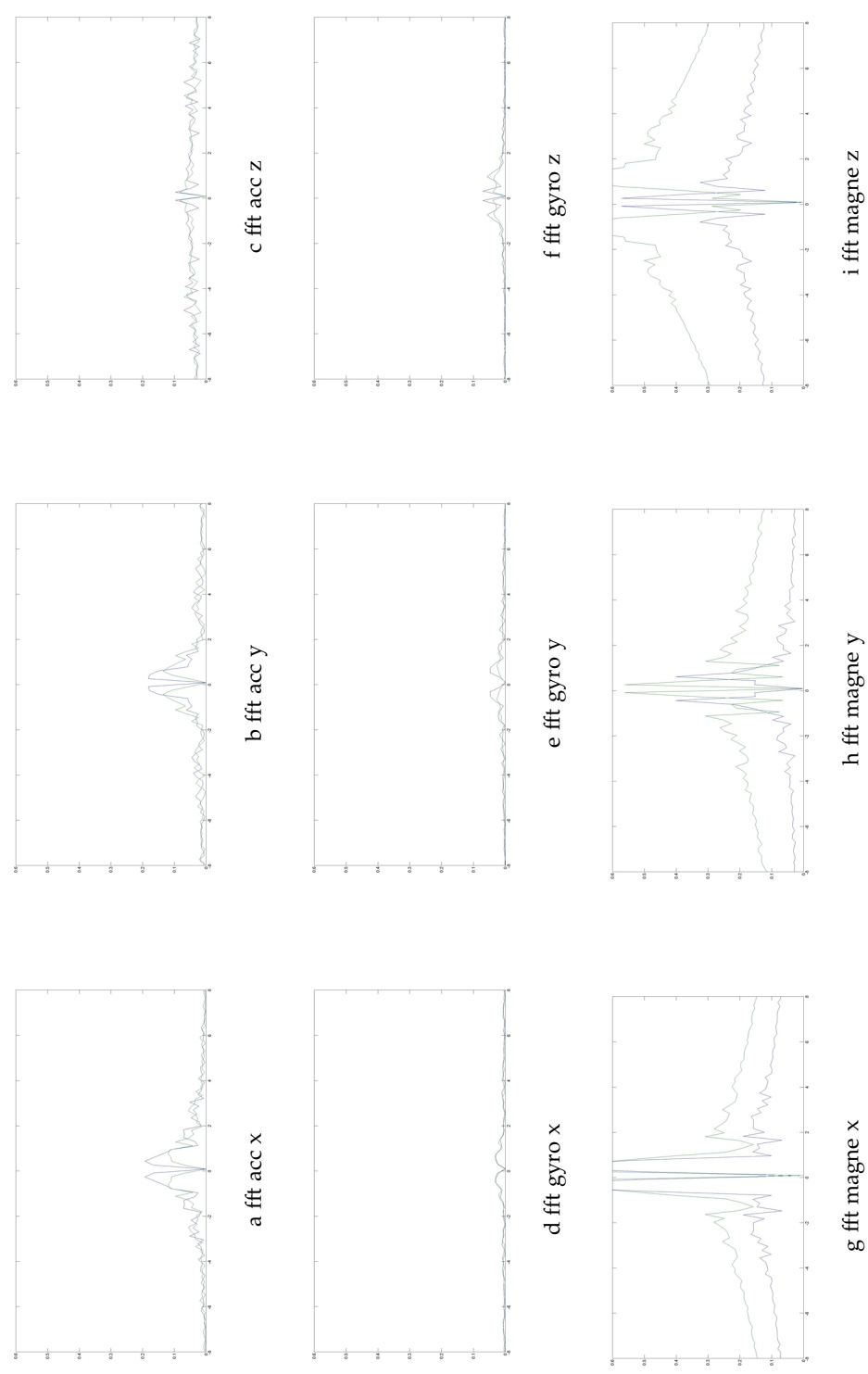


FIGURE 64. – Mouvement : fft coucher 2

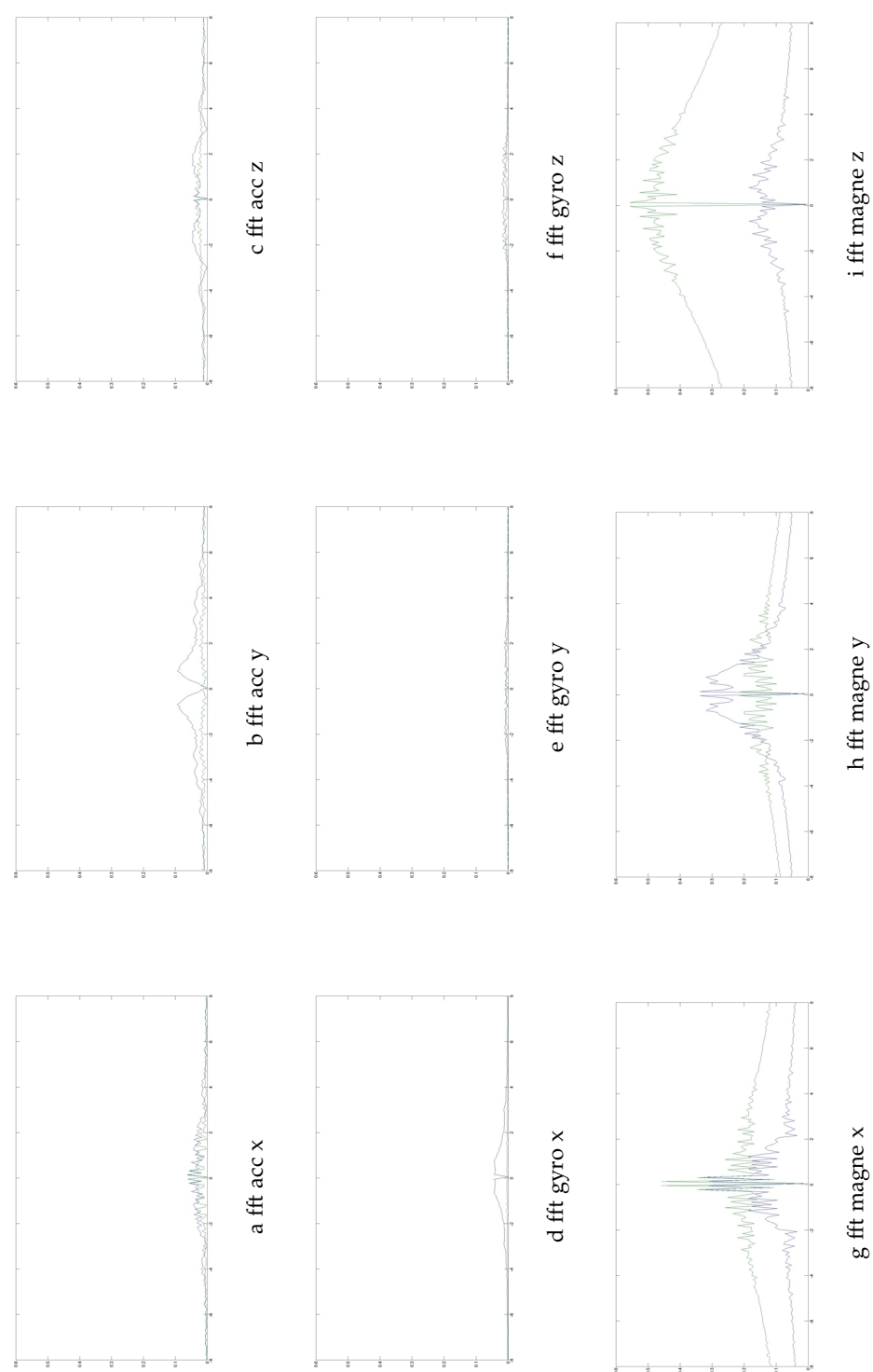


FIGURE 65. – Mouvement : fft assis 2

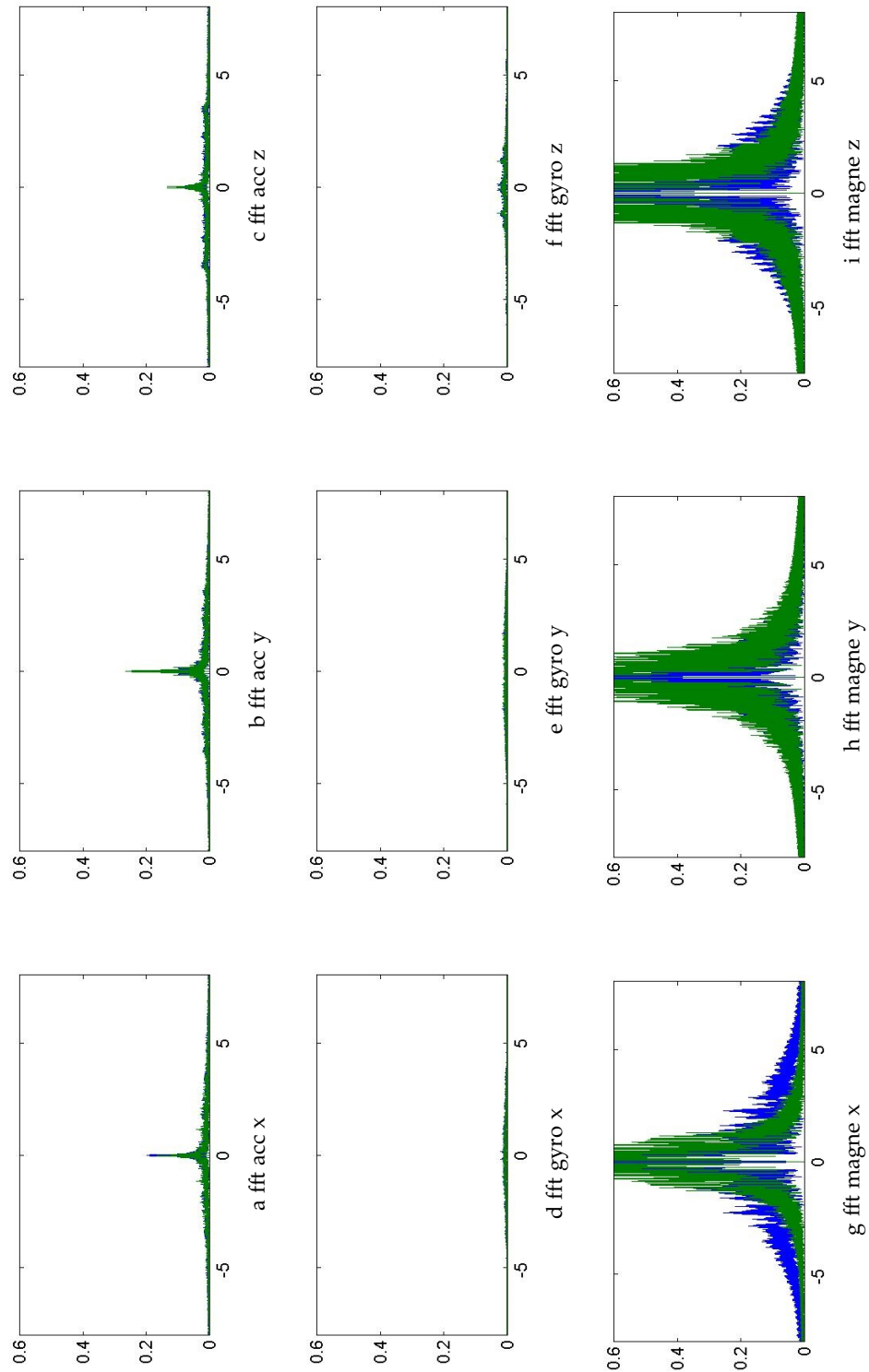


FIGURE 66. – Mouvement : fft entier



DIMENSIONNEMENT MOTEUR

Ci-dessous le rapport de Philippe Lucidarme concernant le dimensionnement du moteur, Les calculs et les conclusions en résultant.

Projet COCHISE : dimensionnement du moteur de serrage pour le harnais

Philippe Lucidarme

June 20, 2013

1 Introduction et hypothèses

Ce document est un rapport interne du projet COCHISE. Il s'agit de dimensionner un moteur pour le serrage du harnais d'un chien. L'objectif du serrage est un rappel à l'ordre de l'animal. Le serrage doit être ferme et rapide, mais ne doit en aucun cas blesser l'animal. La solution retenue lors de la réunion du 22 mai 2013 est un système constitué de deux câbles reliés au harnais d'une part et dont l'autre extrémité viendraient s'enrouler sur une poulie motorisée. Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- l'action doit être rapide, la durée du serrage doit être inférieure à une seconde,
- le harnais doit se réduire d'une longueur estimée de 10cm,
- la force exercée (m) est estimée à 4Kg,
- l'encombrement visé est un cylindre de 3cm de diamètre situé sur le dos du chien.

2 Dimensionnement

2.1 Enrouleur

Nous allons partir sur la base d'un enrouleur d'un rayon (r) de 15mm, pour enrouler 100mm de câbles, il faut effectuer une rotation de $\frac{100}{15} = 6.666$ radians soit approximativement une révolution complète de l'enrouleur.

2.2 Accélération

Nous allons émettre l'hypothèse d'un couple accélération et décélération égaux et constant, ce qui implique un profil en vitesse triangulaire. Posons a l'accélération sur la première moitié du mouvement. La vitesse est donnée par $v = a.t$ et la position angulaire du système est donnée par : $p = \frac{1}{2}a.t^2$. Posons T la durée du mouvement et P la position finale, nous pouvons en déduire qu'à $t = \frac{T}{2}$ la position est donnée par $P = \pi$ (une demi rotation de l'enrouleur). Nous pouvons en déduire l'accélération nécessaire au mouvement :

$$a = \frac{4P}{T^2} \quad (1)$$

Nous pouvons de la même façon en déduire la vitesse de rotation maximale de l'enrouleur :

$$v_{max} = \frac{2P}{T} \quad (2)$$

2.3 Calcul du couple

Le principe fondamental de la dynamique en rotation est difficilement applicable ici tant que le moment d'inertie de la poulie n'est pas connu. Nous pouvons à mon sens considérer que cet aspect est négligeable vis à vis des efforts exercés et une estimation simplifiée du couple devrait être suffisante.

$$C_{max} = \frac{2m}{9.8067}r \quad (3)$$

3 Conclusion

Un fichier tableur accompagne le présent document, il permet de modifier les spécifications afin d'en déterminer les vitesses et couples avant et après réduction. Selon les hypothèses décrites précédemment, nous pouvons en déduire les caractéristiques suivantes :

- vitesse max (arbre de sortie) : 127 rpm.
- couple max (arbre de sortie) : 0.588Nm (=6Kg.cm)

Une recherche chez les principaux fournisseurs du LISA montre que des moteurs type Maxxon ou Faulhaber pourraient convenir. Etant donné le coût et la qualité de tels moteurs, je préconise dans un premier temps et à des fins expérimentales d'utiliser un moteur meilleur marché :

- modèle DCM2 : répond aux critères en terme d'encombrement, de vitesse, mais pas de couple
- modèle DCM4 : répond aux critères en terme de vitesse, de couple, mais pas d'encombrement ni de tension d'alimentation (24V).

Ces moteurs, illustrés sur la figure 1, sont disponibles chez Lextronic.



Figure 1: Illustration des moteurs DCM2 (gauche) et DCM4 (droite).

D

ALGORITHME D'ÉCHAPPEMENT DE VALEURS

Ci-dessous l'algorithme permettant d'encoder une trame LORA afin qu'aucune des valeurs interdites ne soit présente.

Algorithme D.1 – Encodage d'une trame

```
uint8_t CochiseComm::fillpayload(uint8_t *mess, uint8_t size
    ↪ ) {
    uint8_t iter = 0;
    uint8_t iterpay = 0;
    m_crc2 = 0;
    m_crc1 = 0;
    bool remake = true;
    m_escape = 128;

    uint8_t * payload = m_txtrame+6;

    while (remake) {
        remake = false;
        iter = 0;
        iterpay = 0;
        m_crc2 = 0;
        m_crc1 = 0;

        while (iterpay < size && iter < 40 && !remake) {
            if (mess[iterpay] == 0 || mess[iterpay] == 0x0D ||
                ↪ mess[iterpay] == 0x20) {
                payload[iter] = m_escape;
                crc(payload[iter]);
                iter++;
                if(mess[iterpay] == 0)
                    payload[iter] = 0x30;
                else if(mess[iterpay] == 0x0D)
                    payload[iter] = 0x64;
                else if(mess[iterpay] == 0x20)
                    payload[iter] = 0x32;
            } else if (mess[iterpay] == m_escape) {
                if (iterpay + 1 < size) {
                    if (mess[iterpay + 1] == 0x30 || mess[iterpay + 1]
                        ↪ == 0x64 ||
```



```
        mess[iterpay + 1] == 0x32) {
            remake = true;
            break;
        }
    }
    payload[iter] = mess[iterpay];
} else {
    payload[iter] = mess[iterpay];
}
crc(payload[iter]);
iter++;
iterpay++;
}

if (remake) {
    m_escape =
        ((m_escape + 1) & 0xFF) | 0x80; // incrementation
        ↪ borne [128-255]
}
}

void CochiseComm::crc(uint8_t val) {
    this->m_crc1 = (this->m_crc1 + val) & 0x7F;
    this->m_crc2 = (this->m_crc2 + this->m_crc1) & 0x7F;
}
```

RAPPORT EXPÉRIMENTATION HANDI'CHIENS LYON

L'annexe suivante reprend les rapports initialement rédigés par notre partenaire Didier Vernay et la vétérinaire Marie Chaffraix qui a suivi les expérimentations dans le centre Handi'Chiens de Lyon.

E.1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Ci-dessous la présentation des chiens et du matériel puis la présentation des méthodes utilisées durant l'étude.

E.1.1 *Matériel*

E.1.1.1 *Chiens*

La Table 16 présente le parcours d'un chien et permet de mieux comprendre le type de chien retenu pour le projet ANR Cochise. Lors de leur formation, deux événements peuvent se produire :

- Redoublement : le chien qui repart pour un cycle de perfectionnement au centre Handi'Chiens pour 6 mois
 - Chiens non prêts techniquement ou mentalement (puérile ie très excités, peu attentifs, etc.)
 - Chiens non remis lors des stages de remise (car il y a toujours plus d'offres que de demande – en principe : 18 chiens proposés à 10-12 bénéficiaires). Les éducateurs présélectionnent en principe 3 chiens par personne bénéficiaire, selon le caractère/emploi du temps du bénéficiaire.
- Réformé : peu importe l'âge du chien, il peut être réformé pour les 2 motifs suivants :
 - Comportement inadapté pour être remis : chien voleur, tire en laisse, agressif
 - Raisons médicales : dysplasie (hanche, coude), otite à répétition, allergie (pb de peau inclus)

En principe le chien est donc remis à une liste d'attente (des familles sont sur liste d'attentes pour bénéficier d'un chien d'assistance, car ces chiens sont tout de même des races "gentilles" et sont remis en principe à l'âge adulte donc bien éduqué et n'ayant pas des problèmes de malpropreté)

	Adoption	Centre Handi'Chiens	Remise
Age des chiens	2 à 18 mois	18 à 24 mois Cycle de perfectionnement de 6 mois	24 voire 30 mois Possible redoublements et réformes
Propriétaire	Famille d'accueil — étudiant — famille — vétérinaire	Éducateur canin Un référent par chien	Bénéficiaire — chiens d'assistance — chiens d'éveil — chiens d'accompagnement social
Rôle du propriétaire	— familiariser les chiens à la vie de famille, à la société — familiariser les chiens avec les premières commandes vocales (x 30) — éducation renforcée par des cours dispensés par les éducateurs du centre Handi'Chiens tous les 15 jours	— éducateurs canins affinent la formation en ajoutant de nouvelles commandes vocales (en totalité 52 commandes vocales) — projet ANR Cochise	

TABLE 16. – Parcours d'un chien

Les chiens choisis sont pour devenir des chiens d'assurances soit des Labradors Retriever soit des Golden Retriever. Le comportement est proche, mais il subsiste des différences.

Le Golden a tendance à être plus "neuneu" et plus sensible. Il faut comprendre qu'il stressera rapidement s'il n'arrive pas à exécuter la commande qui lui a été demandée. Exemple : ouvrir la porte, s'il échoue lors de sa première tentative pour ouvrir la porte, il risque de se bloquer et de ne pas pouvoir renouveler la commande aussitôt. Le Golden ne supporte pas l'incohérence (ie s'adapte mal si le contexte pour effectuer la commande varie)

À savoir : quelles sont les races de chiens les plus adaptées pour assister les bénéficiaires :

- un chien au caractère doux
- un chien qui aime rapporter des objets : les "retriever" sont vraiment les chiens de choix pour les bénéficiaires, car ce sont historiquement des rapporteurs de gibiers et donc conservent cette particularité pour apporter les objets aux personnes nécessiteuses
- un chien qui encourage l'épanouissement social : un Berger Allemand aurait tendance à effrayer les gens et donc à moins favoriser l'épanouissement social de la personne bénéficiaire

Les chiens choisis sont inscrits au Livre des Origines Français. Ils peuvent être également de deux lignées différentes qui influent sur leur morphologie et comportement : les lignées de travail et les lignées de beauté.

- Lignée de travail : chien dynamique ("speed"), de petit format ("taillé comme une formule 1") par rapport à leur homologue de beauté, disposé à apprendre.
 - Golden : haut sur patte, de robe plus blanche
 - Labrador : morphologie fine et donc pas la plus recherchée du Labrador à la tête massive tel un ours, par contre un véritable chien de chasse donc très disposé à servir son maître
- Lignée de beauté : chien moins réactif ("plus mou"), de grand format par rapport à leur homologue de travail
 - Golden : court sur patte, robe plus brune/marron
 - Labrador : massif, mais moins travailleur

Il y a 6 éducateurs canins au centre Handi'Chiens. Chaque éducateur canin travaille 6 à 8 chiens, mais tous ne sont pas travaillés tous les jours (en principe un chien est travaillé 3/5 jours ouvrés). Deux éducateurs Jérôme et Cynthia ont participé à cette étude. Ils ont sélectionné 13 chiens pour l'étude dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Sexe : 11 mâles et deux femelles
- Race : six Labrador Retriever et sept Golden Retriever
- Type morphologique : sept lignées de travail et six lignées de beauté.

La Table 17 présentent les chiens utilisés durant l'étude. Ces chiens ont été travaillés par 2 éducateurs distincts durant 15 séances excepté pour deux chiens définis comme non répondeurs ISAAC et ITEM qui ont été réformés au bout de 5 séances et 1 redoublant (IZAR) qui a effectué 30 séances au total.

Chiens	Cycle	Race	Lignée	Sexe	Éducateur	Séances de travail	Séances évaluées
IMAGE	1	Labrador	travail	Femelle	Jérôme	15	2
HAYKO		Golden	beauté	Mâle		15	2
HEROS		Labrador	beauté	Mâle		15	0
ISLANDE		Golden	travail	Femelle	Cynthia	15	1
INUIT		Labrador	travail	Mâle		15	2
IZAR		Golden	travail	Mâle		15	1
ISAAC	2	Labrador	travail	Mâle	Jérôme	5	2
ITEM		Labrador	travail	Mâle		5	1
ILOU		Golden	beauté	Mâle		15	1
ICAR		Labrador	travail	Mâle		15	2
IZMIR		Golden	beauté	Mâle	Cynthia	15	0
ILOO		Golden	beauté	Mâle		15	0
IUKO		Golden	beauté	Mâle		15	0
IZAR		Golden	beauté	Mâle		15(+15)	1

TABLE 17. – Descriptions des chiens

E.1.1.2 *Colliers version 2*

Commandes vocales préenregistrées et paramétrées le 17/02/15 par Germain :

- Nom du chien + commande vocale
 - Viens
 - Assis
 - Couché
 - Debout
 - Aboie
- Récompenses orales
 - C'est bien. (La voix se pose afin de "calmer" le chien, notamment lorsqu'il s'est couché et qu'on veut le maintenir dans cette position)
 - C'est bien! (la voix est accentuée et dynamique afin de féliciter le chien. À éviter d'utiliser lorsque le chien s'est couché sous peine de l'encourager à se relever)
- Interdictions
 - Nom du chien + Non! Les éducateurs souhaiteraient d'ailleurs avoir un "NON" non précédé par le nom du chien afin que cette interdiction soit plus efficace pour empêcher/arrêter une action

Les éducateurs ont rapidement pris en main le collier et après l'avoir essayé sur leurs chiens, ils ont été agréablement surpris de la rapidité de l'acceptation du collier et surtout de leur capacité à exécuter les commandes dictées avec autant d'efficacité (de rapidité). Ils ont souhaité avoir plus de commandes disponibles.

Commandes vocales préenregistrées et paramétrées le 19/03/15 par Germain :

- Nom du chien + commande vocale

- Fini
- Monte
- Descend
- Bonjour
- Apporte (versions intonations hautes et basses)
- Donne

E.2 MÉTHODE

E.2.1 *Préambule à la méthode éducative Handi'Chiens*

La démarche suivie par les éducateurs canins avant de procéder à une séance de travail individuelle est la suivante. Le chien qui va travailler est appelé à quitter sa meute pour rejoindre l'éducateur canin dans l'unique salle de travail du centre. En principe, les chiens sont alors très excités et donc non disposés à travailler de suite. L'éducateur canin a donc pris pour habitude de laisser les chiens faire un tour d'horizon dans la salle afin qu'ils s'approprient ce nouvel espace (odeurs laissées notamment par leurs congénères précédents, objets intéressants, etc.). Puis, une fois qu'ils ont pris leurs marques, ils sont moins excités et bien plus disposés à travailler. Le chien revient alors aux pieds de son éducateur qui n'était alors qu'un observateur passif. Cette phase dure en principe quelques minutes et est indispensable avant même de travailler le chien.

Cette même méthode sera donc suivie avant de tester le collier du projet ANR Co-chise.

Déroulement de la séance de travail

- Durée de travail quotidienne du chien : Elle est d'environ 20 minutes réparties en plusieurs séances. Il est indispensable de fractionner le travail sous peine de "saturer" l'apprentissage des chiens.
- Contenu de la séance : Les chiens vont être soumis à de nombreuses commandes vocales. La répétition de ces commandes permet de renforcer leur apprentissage. Durant l'apprentissage, deux éléments vont évoluer, les espaces de travail et l'intensité des stimuli. Les séances sont d'abord individuelles puis peuvent devenir collectives (avec 2 à 3 éducateurs qui travaillent en même temps chacun un chien au sein de la même salle) L'éducation du chien suit les étapes suivantes :
 - L'éducateur est initialement debout.
 - Au sein de la salle de travail du centre Handi'Chiens
 - Appropriation de l'espace de travail par le chien
 - Avec des accessoires : marche de l'éducateur avec un déambulateur ou avec des béquilles
 - Puis, en conditions réelles : à la gare, à carrefour, etc.
 - Puis l'éducateur est assis. Il mime un handicap moteur et donc se déplace en fauteuil roulant (manuel ou électrique).
 - Au sein de la salle de travail du centre Handi'Chiens

- Puis, en conditions réelles soient en des lieux publics (à la gare, à carrefour, au marché, etc).

Cette dernière étape a tendance à perturber les acquis des chiens d'assistance. En effet, le chien adopte inconsciemment le placement le plus adapté à la position (debout, assise, couchée) prise par son maître, afin de mieux le servir. Ainsi, lorsque le propriétaire est assis dans un fauteuil roulant, le positionnement à l'arrêt du chien devient perpendiculaire à celui du propriétaire et non plus parallèle à un propriétaire debout. Les chiens ayant été initialement travaillés par des éducateurs en position debout puis maintenant en position assise modifient les habitudes du chien qui finit par ne plus reconnaître l'exercice auquel il fut formé (son référentiel ainsi que les paramètres changent : champ de vision devient également perpendiculaire à celui du maître, etc.).

- Enfin, en conditions mixtes, durant le dernier mois de formation des chiens avant qu'ils soient remis à leurs bénéficiaires. Durant cette dernière phase, les éducateurs canins accentuent les traits de formation qui seront les plus sollicités lorsque l'animal sera remis au bénéficiaire (ie formation au cas par cas)
 - Rotation entre les éducateurs (comprendre : le chien a été travaillé par un éducateur canin référent puis finira par passer entre les mains des autres éducateurs pour s'habituer à différents timbres de voix)
 - Éducateurs en position debout ou assise
 - Exercices au sein de la salle de travail ou sur les lieux publics

E.2.2 *Intégration du collier du projet ANR Cochise*

Le collier a été intégré aux séances de travail des chiens en quatre étapes :

- Port passif du collier : Les éducateurs initient les chiens en leur faisant porter de manière passive le collier. Dès la première séance de travail (de quelques minutes), l'animal accepte le collier.
- Collier non porté : L'éducateur maintient le collier dans sa main, mais fait appel aux commandes vocales émises par le collier pour "driver" l'animal. L'animal se familiarise ainsi avec le son émis par le collier.
- Commande vocale émise par le collier associée à la voix de l'éducateur. Ex : "Viens" (collier) synchrone au "Viens" de l'éducateur canin suivi du don d'une croquette
- Commande vocale émise seulement par le collier.

E.3 ÉVALUATION

Cette étude a été menée durant deux cycles de formations correspondant aux six mois durant lesquels les chiens reçoivent leur formation avancée. Le premier cycle a eu lieu de mi-octobre 2014 à mi-avril 2015 et le second cycle de mi-mai 2015 à mi-octobre 2015.

Pour l'évaluation, les éducateurs ont un outil interne (grille d'évaluation) à Handi'Chiens qui leur permet de comparer lors de chaque séance travaillée la progression de la réponse aux ordres oraux avec les ordres donnés par le collier de l'étude. Certaines séances n'ont pas pu être évaluées par le vétérinaire qui se déplaçait ponctuellement jusqu'au centre Handi'Chiens, car les chiens à évaluer n'étaient alors pas travaillés le jour de son déplacement.

Le premier résultat est la rapidité d'acceptation du collier. En principe, une séance de 10 minutes suffit pour que l'animal accepte d'exécuter un son qui vient du collier. Les 3 réactions suivantes ont été observées :

- acceptation immédiate
- excitation : l'animal court et cherche d'où vient la commande vocale. À chaque fois qu'une commande vocale est donnée par le collier, HEROS réalisait un tour sur lui-même avant d'exécuter la commande. Les éducateurs canins en ont déduit que le chien cherchait la provenance du son et/ou manifestait un certain inconfort à la vibration concomitante à l'émission sonore depuis le collier.
- apeuré/évitement : HAYKO qui a cherché à être rassuré en sautant sur les jambes de son éducateur qui était alors assis (= véritablement à la manière du dessin animé Scoubidou). Cette même réaction a été manifestée lors de 2 séances consécutives.

Les deux sections suivantes analysent les résultats obtenus à la fin de l'étude.

E.3.1 *Analyse par chien*

Les Tables 18 à 31 permet de voir la progression des chiens durant les séances évaluées par la vétérinaire selon les méthodes Handi'Chiens traditionnelle et de celle utilisée pour le collier. Ainsi, on dresse rapidement le profil du chien et si à l'évidence, il a saisi la méthode de travail.

Une technique de cotation est mise en place. Elle révèle si la consigne donnée est bien exécutée pour un nombre d'essais fixé à 3. Les scores s'échelonnent de 0 à 3 comme suit :

- Ø = essai non réalisé
- 0 = non réactif ou réactivité inadaptée
- 1 = +/- de réactivité adaptée
- 2 = réactivité adaptée
- 3 = réactivité adaptée et stable et fiable dans le temps

On remarque que seuls 2 chiens (ISAAC et ITEM) sont mauvais répondeurs par la méthode du collier et on constate d'ailleurs qu'ils étaient également en difficulté avec l'éducation traditionnelle orale d'Handi'Chiens. Ils ont donc été classés comme étant "Non Répondeurs" et ont été exclus de notre étude après 5 séances de travail.

Commande	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	6/15	3	3	2	2
Couché		3	2,67	3	3
Aboie		3	2,67	3	3
Debout		3	3	0	0
Assis		3	3	2	2
Viens	13/15	3	2,67	2	2
Couché		3	3	2	2
Aboie		3	3	2	2
Debout		3	3	3	2,33
Assis		3	3	3	3
Monte	6/8*	3	3	2	1
Apporte		3	2,67	3	3
Bonjour		3	3	3	3
Descend		3	3	2	0,67
Donne		3	2,33	3	3

TABLE 18. – Promotion 1 : Image

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	6/15	3	2,67	Ø	Ø
Couché		3	3	2	2
Aboie		3	2,33	Ø	Ø
Debout		3	3	2	2
Assis		3	3	2	1
Viens	13/15	3	3	2	2
Couché		3	2,67	3	2,67
Aboie		3	3	2	1,67
Debout		3	3	3	3
Assis		3	2,67	3	2,67
Monte	6/8*	3	3	2	1,33
Apporte		3	2,33	2	2
Bonjour		3	3	2	2
Descend		2	1,33	3	2,67
Donne		3	3	3	3

TABLE 19. – Promotion 1 : Hayko

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	6/15	2	1,67	1	1
Couché		3	2,33	2	1,33
Aboie		2	2,33	2	2
Debout		3	3	3	3
Assis		3	3	3	3
Viens	13/15	3	3	2	2
Couché		3	2,67	2	2
Aboie		3	2,67	2	1,67
Debout		3	3	3	3
Assis		3	3	3	3
Monte	6/8*	3	2,67	2	1,67
Apporte		3	3	3	3
Bonjour		3	3	3	2,33
Descend		3	3	3	3
Donne		3	2,67	3	3

TABLE 20. – Promotion 1 : Heros

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	6/15	3	3	3	3
Couché		2	2	1	1
Aboie		3	2,33	2	2
Debout		3	3	2	2
Assis		2	2	2	2
Viens	13/15	2	2	3	2,67
Couché		3	2,67	3	3
Aboie		2	2	3	2,67
Debout		3	2,33	3	3
Assis		3	3	3	2,33
Monte	6/8*	3	2,67	2	1,67
Apporte		2	2	3	2,33
Bonjour		3	2,67	3	2,67
Descend		3	3	3	2,33
Donne		3	3	3	3

TABLE 21. – Promotion 1 : Islande

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	6/15	3	2,67	2	2
Couché		2	2	2	2
Aboie		3	3	1	1
Debout		3	3	2	2
Assis		3	2,33	2	2
Viens	13/15	3	2,67	3	3
Couché		3	3	2	2
Aboie		3	3	3	2,33
Debout		3	2,67	3	3
Assis		3	3	3	3
Monte	6/8*	3	3	2	2
Apporte		3	3	3	3
Bonjour		3	3	3	2,67
Descend		3	3	3	2,33
Donne		3	3	3	3

TABLE 22. – Promotion 1 : Inuit

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	6/15	3	2,33	3	3
Couché		3	3	2	2
Aboie		3	2,67	1	1
Debout		3	2,33	2	2
Assis		3	3	2	0,67
Viens	13/15	3	3	2	2
Couché		3	2,67	3	3
Aboie		3	2,67	3	2,67
Debout		3	3	3	3
Assis		3	3	2	2
Monte	6/8*	3	2,33	2	2
Apporte		3	3	3	2,67
Bonjour		3	3	3	3
Descend		3	3	3	3
Donne		3	3	3	3

TABLE 23. – Promotion 1 : Izar

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	1/5	2	1,67	2	1,33
Couché		2	2	1	0,33
Aboie		2	1,67	0	0
Debout		3	3	0	0
Apporte		2	1,67	1	0,67
Assis		2	2	1	0,67
Viens	2/5	3	2,33	1	1
Couché		2	1	1	0,67
Aboie		2	1,33	2	1
Debout		2	2	1	0,5
Apporte		2	2	2	1,33
Assis		3	3	1	0

TABLE 24. – Promotion 2 : Isacc

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	1/5	2	2	1	0,33
Couché		1	0,67	1	0,33
Aboie		2	1	2	2
Debout		2	2	0	0
Apporte		2	2	1	1
Assis		2	2	0	0
Viens	2/5	2	2	2	1,67
Couché		2	1,67	2	1,33
Aboie		1	1	1	0,67
Debout		2	2	2	2
Apporte		2	2	1	0,67
Assis		2	2	2	1,33

TABLE 25. – Promotion 2 : Item

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	1/15	2	2	2	1
Couché		2	1,33	2	1
Aboie		2	1	1	0,33
Debout		2	2	1	0,5
Apporte		2	2	1	1
Assis		2	1,33	1	0,33
Viens	13/15	3	2,67	2	2
Couché		3	3	3	2,33
Aboie		2	2	3	2,67
Debout		3	3	2	2
Apporte		3	2,33	2	2
Assis		3	3	2	2

TABLE 26. – Promotion 2 : Ilou

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	1/15	2	2	1	1
Couché		2	2	2	1,67
Aboie		3	2,67	1	1
Debout		3	2,33	2	2
Apporte		2	2	1	0,5
Assis		3	3	2	2
Viens	13/15	3	2,67	2	2
Couché		3	3	2	2
Aboie		3	3	3	2,33
Debout		3	2,33	3	2,67
Apporte		3	3	2	2
Assis		3	2	2	2

TABLE 27. – Promotion 2 : Icar

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	1/15	2	2	2	1,67
Couché		2	2	1	1
Aboie		3	2,67	1	0,67
Debout		2	2	1	1
Apporte		3	2,33	1	1
Assis		2	2	2	0,67
Viens	13/15	3	3	2	2
Couché		2	2	3	2,67
Aboie		3	3	3	2,33
Debout		3	2,33	2	2
Apporte		3	2,67	3	3
Assis		3	3	3	3

TABLE 28. – Promotion 2 : Izmir

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	1/15		1,33	2	1,33
Couché		2	2	1	1
Aboie		3	2,33	2	0,67
Debout		2	2	1	1
Apporte		2	2	1	0,67
Assis		2	2	1	0,33
Viens	13/15	3	3	2	2
Couché		3	3	3	2,33
Aboie		2	2	3	2,67
Debout		3	3	2	2
Apporte		3	2,67	2	2
Assis		3	3	3	2,67

TABLE 29. – Promotion 2 : Iloö

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	1/15	2	1,33	1	1
Couché		3	2	2	1,33
Aboie		3	2,33	1	0,67
Debout		2	2	1	1
Apporte		3	2,33	2	0,67
Assis		2	2	1	0,33
Viens	13/15	3	3	3	2,33
Couché		3	3	3	2,33
Aboie		3	2	2	2
Debout		2	3	2	2
Apporte		3	2,67	3	2,33
Assis		3	3	3	2,67

TABLE 30. – Promotion 2 : Iuko

Ordre	Séance	Prononcé par l'éducateur		Donné par le collier	
		Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais	Meilleur score obtenu	Moyenne différents essais
Viens	16/30	3	3	3	3
Couché		2	2	2	2
Aboie		3	2,67	3	2,67
Debout		3	2	3	3
Apporte		2	2	3	2,33
Assis		3	3	2	2
Viens	28/30	3	3	2	2
Couché		3	2,67	2	1,67
Aboie		2	2	3	2,67
Debout		3	3	3	2,67
Apporte		3	2,67	3	2,33
Assis		3	3	3	2,67

TABLE 31. – Promotion 2 : Izar

E.3.2 Analyse par ordres

L'analyse présentée par la Table 32, permet de définir qu'un chien est répondeur, répondeur partiel ou non répondeur au collier. Pour cela, on étudiera la meilleure réponse de l'animal aux six ordres ayant été travaillés par les 13 chiens de l'étude selon les deux méthodologies classique et robotisée.

On considère qu'un chien est :

- Répondeur : les réponses aux ordres donnés par la méthode traditionnelle et par le collier sont obtenues dans les deux cas avec un score maximal de 3 pour 5 ou 6 ordres sur les 6 testés.
- Non répondeur : les réponses aux ordres donnés par le collier ne sont pas effectives avec des scores n'ayant jamais 3 pour aucun ordre.
- Répondeur partiel : les réponses aux ordres donnés par la méthode traditionnelle et par le collier sont obtenues dans les deux cas avec un score maximal de 3 pour 2 à 4 ordres sur les 6 testés.

Selon cette proposition, il y a donc :

- 4 chiens / 13 sont de bons répondeurs (R) : IMAGE, ISLANDE, INUIT, IZAR. On fait ainsi l'hypothèse que si le chien a été capable d'avoir ce niveau de réponse à 3 (réactivité adaptée et stable et fiable dans le temps) en si peu de séances, ce chien pourra communiquer avec le collier de façon efficace.
- 2 chiens / 13 sont non répondeurs (NR) : ISAAC, ITEM. ces chiens sont déjà des mauvais répondeurs à la méthode classique et le collier semble les stresser. C'est chiens sont détectés rapidement dès les premiers essais.
- 7 chiens / 13 sont répondeurs partiels (RP) : HAYKO, HEROS, ILOU, ICAR, IZMIR, ILOO, IUKO. Certains chiens semblent nécessiter une familiarisation au collier et un apprentissage plus long, mais se révèlent répondeurs dans le temps. On peut faire ainsi l'hypothèse qu'une imprégnation plus prolongée à cette méthode permette de trancher si le chien devient un bon répondeur ou non.

En conclusion, les données des tests préliminaires faits sur 13 chiens en cours d'éducation au centre Handi'Chiens de Lyon montrent qu'il est aisé pour les éducateurs de savoir si un chien est un bon répondeur ou un non répondeur, cela nécessite quelques séances (pas plus de 3) selon les critères proposés. Pour les chiens partiellement répondeurs, des séances supplémentaires sont nécessaires pour savoir si un chien sera un bon répondeur. Avec les données d'observation canine de cette étude, nous pouvons faire l'hypothèse que cela concerne suffisamment de chiens pour avancer un chiffre minimum de 50% de répondeurs avec entraînement précoce et plus fréquent. D'autres études sont nécessaires pour savoir si ces données sont généralisables à un échantillon de chiens plus large, à d'autres chiens et d'autres contextes éducatifs.

Chien	Ordre												score 3 obtenu par ordre		Répondeur
	Viens		Couché		Aboie		Debout		Apporte		Assis				
	Meilleur score obtenu par ordre donnée														
	Édu.	Col.	Édu.	Col.	Édu.	Col.	Édu.	Col.	Édu.	Col.	Édu.	Col.	Édu.	Col.	
IMAGE	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6/6	5/6	R
HAYKO	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	6/6	3/6	RP
HEROS	3	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	6/6	3/6	RP
ISLANDE	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	5/6	6/6	R
INUIT	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	6/6	5/6	R
IZAR	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	6/6	5/6	R
ISAAC	3	2	2	2	2	2	3	1	2	2	3	1	3/6	0/6	NR
ITEM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	0/6	0/6	NR
ILOU	3	2	3	3	2	3	3	2	3	2	3	2	5/6	2/6	RP
ICAR	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	6/6	2/6	RP
IZMIR	3	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	5/6	4/6	RP
ILOO	3	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	6/6	3/6	RP
IUKO	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	5/6	4/6	RP
IZAR	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	6/6	5/6	R
	2.92	2.35	2.78	2.57	2.78	2.64	2.85	2.5	2.78	2.5	2.92	2.57			

TABLE 32. – Analyse par ordre (R=Répondeur, RP=Répondeur Partiel, NR=Non Répondeur)

ATELIER CO-CONCEPTION

F.1 QUESTIONNAIRE

Vous connaître

1. Quel(s) dispositif(s) avez vous l'habitude d'utiliser ?

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Smartphone
- ☐ Tablette
- ☐ Aucun de ceux là
- ☐ Autre :

2. Quel est le modèle de votre smartphone ou tablette ?

.....

3. Si vous avez un SMARTPHONE à quelle fréquence l'utilisez vous ?

Une seule réponse possible.

- ☐ Une fois par semaine
- ☐ Plusieurs fois par semaine
- ☐ Une fois par jour
- ☐ Plusieurs fois par jour

4. Si vous avez un SMARTPHONE pour quelles tâches l'utilisez vous?

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Pour téléphoner
- ☐ Pour envoyer des sms
- ☐ Pour prendre des photos
- ☐ Pour jouer
- ☐ Pour internet
- ☐ Pour écouter de la musique
- ☐ Autre :

5. Si vous avez une TABLETTE à quelle fréquence l'utilisez vous ?

Une seule réponse possible.

- ☐ Une fois par semaine
- ☐ Plusieurs fois par semaine
- ☐ Une fois par jour
- ☐ Plusieurs fois par jour

6. Si vous avez un TABLETTE pour quelles tâches l'utilisez vous?

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Pour téléphoner
- ☐ Pour envoyer des sms
- ☐ Pour prendre des photos
- ☐ Pour jouer
- ☐ Pour internet
- ☐ Pour écouter de la musique
- ☐ Autre :

7. Quel(s) accessoires utilisez vous ?

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Casque audio
- ☐ Stylet
- ☐ Montre connectée
- ☐ Autre :

8. Comment adaptez vous votre smartphone ou tablette afin d'en faciliter l'usage ?

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ En modifiant la taille de police
- ☐ En utilisant le retour vocal
- ☐ En agrandissant les boutons standards
- ☐ En limitant les zones tactiles
- ☐ En personnalisant les gestes tactiles
- ☐ En utilisant les bulles d'informations
- ☐ Autre :

9. En ce qui concerne les actions suivantes, indiquez si, pour vous, elles sont faciles ou difficiles à utiliser :

Une seule réponse possible par ligne.

	Très facile	Facile	Normale	Difficile	Très difficile
L'appui court	☐	☐	☐	☐	☐
L'appui long	☐	☐	☐	☐	☐
Le double appui (rapide)	☐	☐	☐	☐	☐
Le glisser	☐	☐	☐	☐	☐
Le zoom	☐	☐	☐	☐	☐
La reconnaissance vocale	☐	☐	☐	☐	☐

10. **Pouvez vous ordonner les actions suivante selon votre préférence d'utilisation**

Rang 1 = votre préférée, Rang 6 =la moins préférée

Une seule réponse possible par ligne.

	L'appui court	L'appui long	Le double appui (rapide)	Le glisser	Le zoom	La reconnaissance vocale
Rang 1	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rang 2	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rang 3	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rang 4	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rang 5	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rang 6	☐	☐	☐	☐	☐	☐

11. **Utilisez vous des applications mobiles spécifiques à votre situation de handicap ?**

Si oui lesquelles ?

.....

.....

.....

.....

.....

12. **Quelle est votre année de naissance ?**

.....

13. **Vous êtes :**

Une seule réponse possible.

- ☐ Un homme
- ☐ Une femme

Fourni par



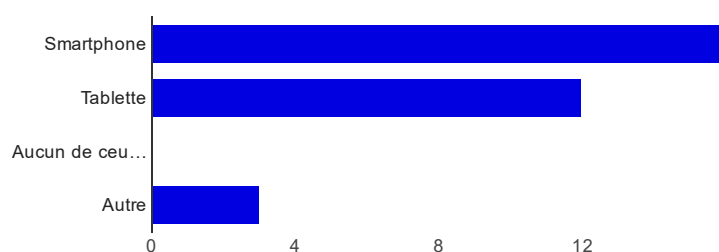
F.2 RÉPONSES AU QUESTIONNAIRE

19 réponses

[Afficher toutes les réponses](#)[Publier les données analytiques](#)

Résumé

Quel(s) dispositif(s) avez vous l'habitude d'utiliser ?



Smartphone	16	84.2 %
Tablette	12	63.2 %
Aucun de ceux là	0	0 %
Autre	3	15.8 %

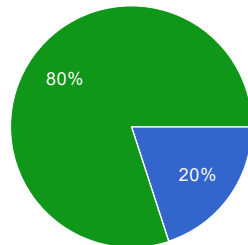
Quel est le modèle de votre smartphone ou tablette ?

ipad mini
 Iphone 6
 Iphone 5S Ipad 2
 Samsung S3
 Iphone tablette samsung
 htc one
 ipad 2
 samsung galaxie
 iphone 5c
 iphone 6 ipad2
 Samsung 5 mini
 Samsung Alpha
 iphone ipad
 sony xperia sp
 Acer et Samsung
 Samsung

sony xperia m4 aqua

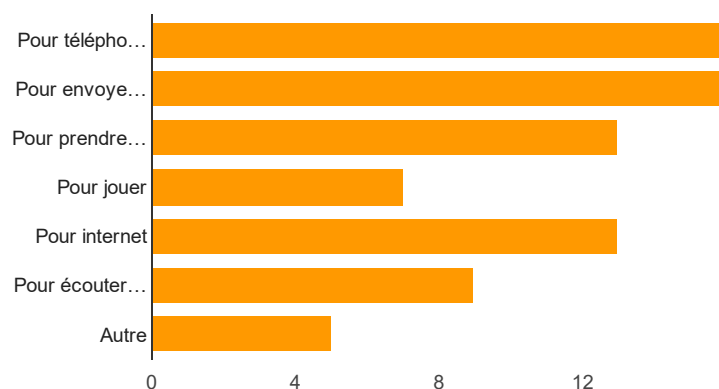
galaxy s6

Si vous avez un SMARTPHONE à quelle fréquence l'utilisez vous ?



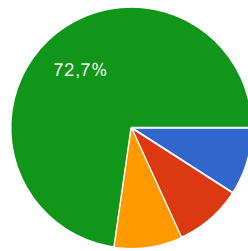
Une fois par semaine	3	20 %
Plusieurs fois par semaine	0	0 %
Une fois par jour	0	0 %
Plusieurs fois par jour	12	80 %

Si vous avez un SMARTPHONE pour quelles tâches l'utilisez vous?



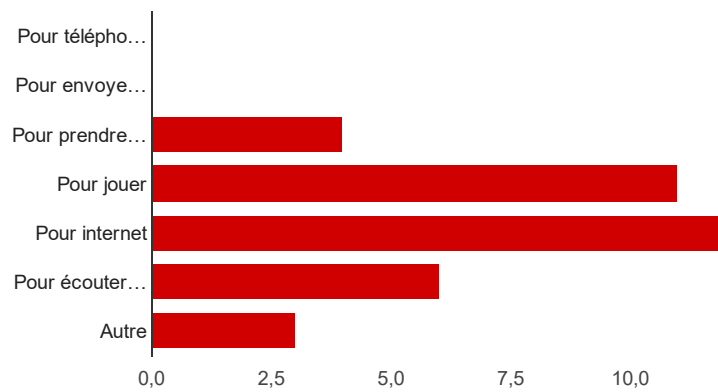
Pour téléphoner	16	100 %
Pour envoyer des sms	16	100 %
Pour prendre des photos	13	81.3 %
Pour jouer	7	43.8 %
Pour internet	13	81.3 %
Pour écouter de la musique	9	56.3 %
Autre	5	31.3 %

Si vous avez une TABLETTE à quelle fréquence l'utilisez vous ?



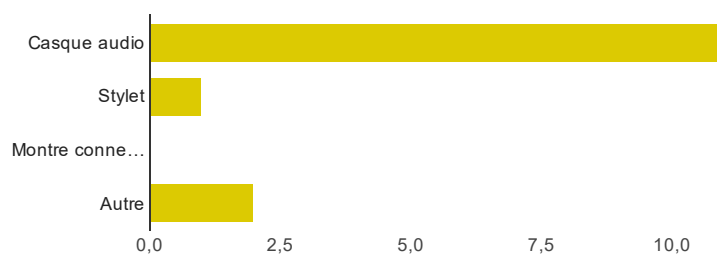
Une fois par semaine	1	9.1 %
Plusieurs fois par semaine	1	9.1 %
Une fois par jour	1	9.1 %
Plusieurs fois par jour	8	72.7 %

Si vous avez un TABLETTE pour quelles tâches l'utilisez vous?

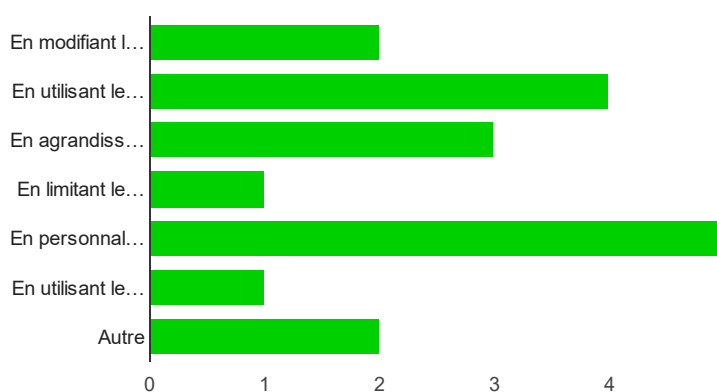


Pour téléphoner	0	0 %
Pour envoyer des sms	0	0 %
Pour prendre des photos	4	28.6 %
Pour jouer	11	78.6 %
Pour internet	12	85.7 %
Pour écouter de la musique	6	42.9 %
Autre	3	21.4 %

Quel(s) accessoires utilisez vous ?

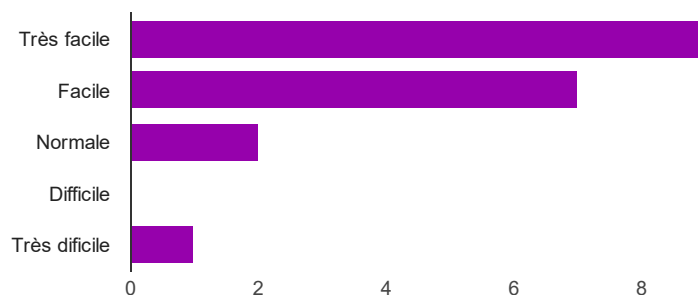


Comment adaptez vous votre smartphone ou tablette afin d'en faciliter l'usage ?



En modifiant la taille de police	2	16.7 %
En utilisant le retour vocal	4	33.3 %
En agrandissant les boutons standards	3	25 %
En limitant les zones tactiles	1	8.3 %
En personnalisant les gestes tactiles	5	41.7 %
En utilisant les bulles d'informations	1	8.3 %
Autre	2	16.7 %

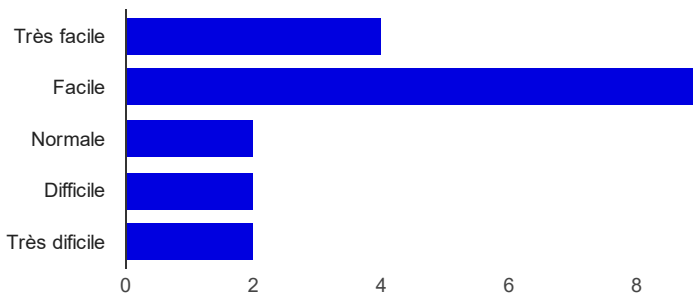
L'appui court [En ce qui concerne les actions suivantes, indiquez si, pour vous, elles sont faciles ou difficiles à utiliser :]



Très facile	9	47.4 %
Facile	7	36.8 %

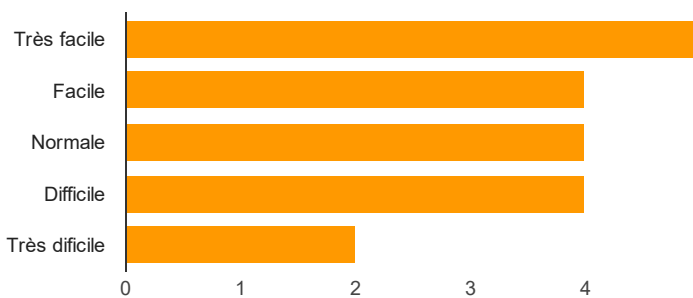
Normale	2	10.5 %
Difficile	0	0 %
Très difficile	1	5.3 %

L'appui long [En ce qui concerne les actions suivantes, indiquez si, pour vous, elles sont faciles ou difficiles à utiliser :]



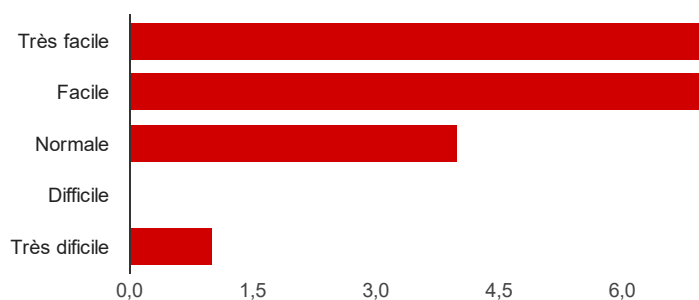
Très facile	4	21.1 %
Facile	9	47.4 %
Normale	2	10.5 %
Difficile	2	10.5 %
Très difficile	2	10.5 %

Le double appui (rapide) [En ce qui concerne les actions suivantes, indiquez si, pour vous, elles sont faciles ou difficiles à utiliser :]



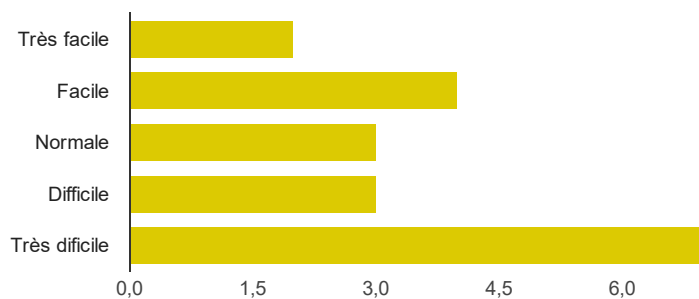
Très facile	5	26.3 %
Facile	4	21.1 %
Normale	4	21.1 %
Difficile	4	21.1 %
Très difficile	2	10.5 %

Le glisser [En ce qui concerne les actions suivantes, indiquez si, pour vous, elles sont faciles ou difficiles à utiliser :]



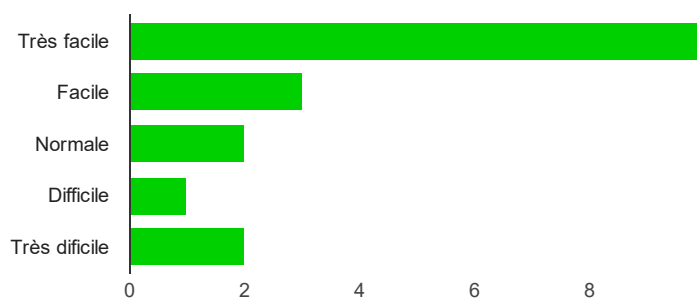
Très facile	7	36.8 %
Facile	7	36.8 %
Normale	4	21.1 %
Difficile	0	0 %
Très difficile	1	5.3 %

Le zoom [En ce qui concerne les actions suivantes, indiquez si, pour vous, elles sont faciles ou difficiles à utiliser :]



Très facile	2	10.5 %
Facile	4	21.1 %
Normale	3	15.8 %
Difficile	3	15.8 %
Très difficile	7	36.8 %

La reconnaissance vocale [En ce qui concerne les actions suivantes, indiquez si, pour vous, elles sont faciles ou difficiles à utiliser :]

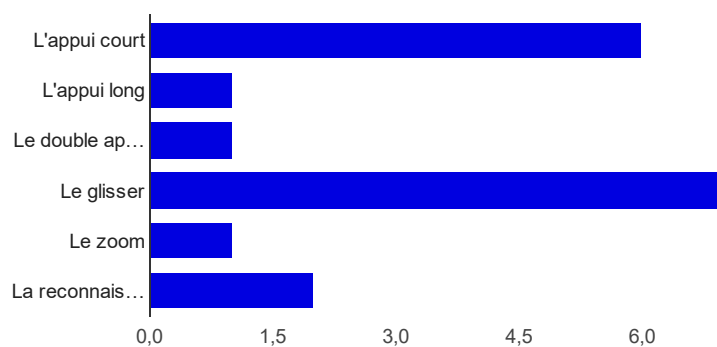


Rang 1 [Pouvez vous ordonner les actions suivante selon votre préférence d'utilisation]



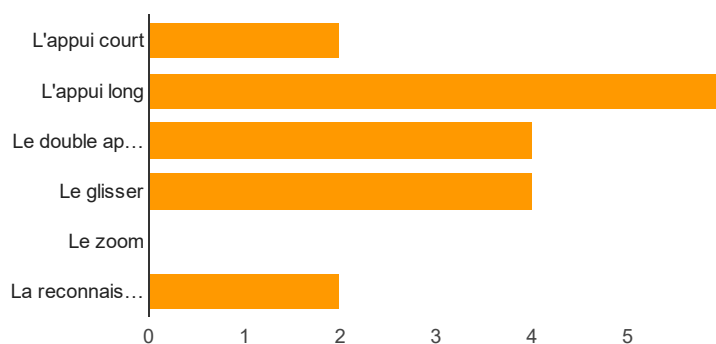
L'appui court	8	44.4 %
L'appui long	0	0 %
Le double appui (rapide)	0	0 %
Le glisser	4	22.2 %
Le zoom	0	0 %
La reconnaissance vocale	6	33.3 %

Rang 2 [Pouvez vous ordonner les actions suivante selon votre préférence d'utilisation]



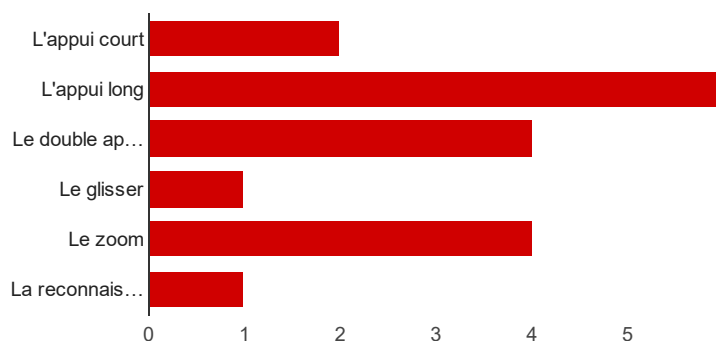
L'appui court	6	33.3 %
L'appui long	1	5.6 %
Le double appui (rapide)	1	5.6 %
Le glisser	7	38.9 %
Le zoom	1	5.6 %
La reconnaissance vocale	2	11.1 %

Rang 3 [Pouvez vous ordonner les actions suivante selon votre préférence d'utilisation]



L'appui court	2	11.1 %
L'appui long	6	33.3 %
Le double appui (rapide)	4	22.2 %
Le glisser	4	22.2 %
Le zoom	0	0 %
La reconnaissance vocale	2	11.1 %

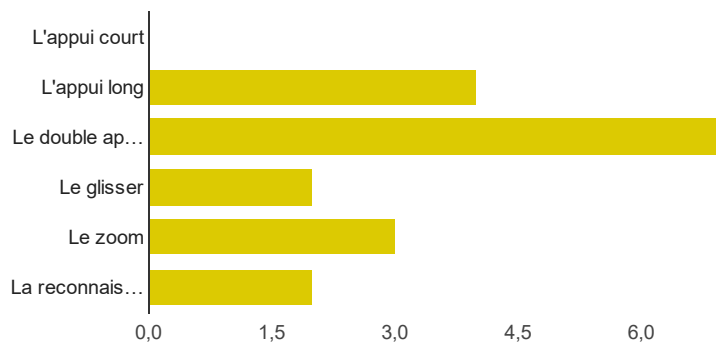
Rang 4 [Pouvez vous ordonner les actions suivante selon votre préférence d'utilisation]



L'appui court	2	11.1 %
---------------	---	--------

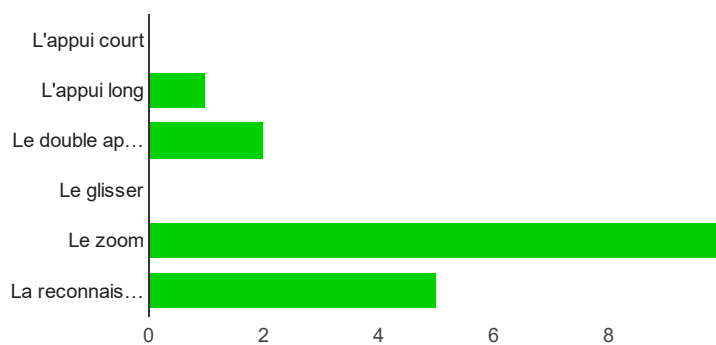
L'appui long	6	33.3 %
Le double appui (rapide)	4	22.2 %
Le glisser	1	5.6 %
Le zoom	4	22.2 %
La reconnaissance vocale	1	5.6 %

Rang 5 [Pouvez vous ordonner les actions suivante selon votre préférence d'utilisation]



L'appui court	0	0 %
L'appui long	4	22.2 %
Le double appui (rapide)	7	38.9 %
Le glisser	2	11.1 %
Le zoom	3	16.7 %
La reconnaissance vocale	2	11.1 %

Rang 6 [Pouvez vous ordonner les actions suivante selon votre préférence d'utilisation]



L'appui court	0	0 %
L'appui long	1	5.6 %
Le double appui (rapide)	2	11.1 %

Le glisser	0	0 %
Le zoom	10	55.6 %
La reconnaissance vocale	5	27.8 %

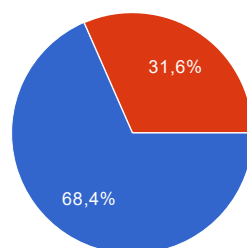
Utilisez vous des applications mobiles spécifiques à votre situation de handicap ?

Dragon natural speak

Quelle est votre année de naissance ?

1992
1975
1994
1969
1990
1985
1995
1987
1978
1986
1983
1999
1984
1998
1973

Vous êtes :



Un homme **13** 68.4 %
Une femme **6** 31.6 %

Nombre de réponses quotidiennes